IPC-HDBK-830

Руководство по разработке, выбору и нанесению конформных покрытий

Руководство по разработке, выбору и нанесению конформных покрытий

1. ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ

1.1 Вступление

Конформные покрытия используются в соединении с компоновочными узлами печатных плат (КУПП). Разработчики и пользователи, применяющие конформные покрытия для электронных средств, знакомы со свойствами конформных покрытий различного типа и их взаимодействием с узлами печатных плат, защитным действием покрытий в среде конечного пользования на протяжении расчетного эксплуатационного срока (или дольше). Данное руководство разработано для проектировщиков конформных покрытий и лиц, их применяющих, для ознакомления со свойствами конформных покрытий разных типов, а также факторами, влияющими на изменение этих свойств во время использования. Знание и учет особенностей различных конформных покрытий помогут обеспечить надежность и функциональность электронных средств.

1.2 Назначение

Данное руководство предназначено для лиц, работающих с конформными покрытиями. Его можно рассматривать как вспомогательную литературу, которая поможет сделать правильный выбор. Представляет собой сводный каталог, вобравший в себя опыт работ исследовательской группы IPC при создании Справочника по конформным покрытиям. Свойства различных конформных покрытий в данном руководстве представлены не полностью, здесь даны лишь разъяснения, для чего применяются покрытия и как проверить, что желаемый результат достигнут.

1.3 Описание

В данном документе конформное покрытие рассматривается как тонкое, прозрачное, полимерное покрытие, наносимое на поверхность КУПП в качестве защиты от среды конечного использования. Толщина типичных покрытий колеблется в диапазоне 12.5 μm – 200 μm.

Технологические характеристики и механизм схватывания зависят от химического состава используемого покрытия. Выбор веществ покрытия и процесса его нанесения осуществляют в зависимости от желаемых характеристик получаемого покрытия. Пользователи могут проконсультироваться у поставщиков в целях получения более полной информации о технических данных.

Данное руководство позволяет пользователю определиться с выбором конформного покрытия на базе имеющегося опыта промышленной отрасли и приемлемых рассуждений. Пользователь ответственен за выбор приемлемого покрытия, приемлемость определяется соответствующими испытаниями, и способ нанесения для конкретного случая конечного использования.

Конформное покрытие может обладать несколькими функциями в зависимости от способа нанесения. Наиболее распространенные функции:

- Препятствуют утечке тока и возникновению короткого замыкания, вызванных повышенной влажностью и загрязнением при эксплуатационных условиях.
- Замедляют коррозию.
- Продляют усталостную долговечность паяных соединений безвыводных корпусов.
- Подавляют образование электронной дуги, коронного разряда и огней Эльма.
- Обеспечивают механическую прочность небольшим деталям, которые не защищены механически, для предотвращения повреждений, вызванных ударом и вибрацией.

1.4 Понятия

Ацетон – летучая легковоспламеняющаяся жидкость с резким запахом, относится к группе кетонов.

Повышение прочности связи – химический процесс подготовки поверхности с целью повышения связывающих свойств с другими поверхностями, например, со слоем конформного покрытия.

Нарушение прочности связи – разрыв связей между адгезивными поверхностями, приводящий к разделению слоев.

Анизотропный – имеющий свойства, которые изменяются в зависимости от направления измерений.

Антропогенный – связанный или вызванный человеческой активностью по отношению к природе.

ARUR – аббревиатура химических соединений акриловых и уретановых каучуков.

Перемычки - утолщения покрытия или образования в форме мениска вокруг выводов компонентов, возникшие вследствие капиллярных сил.

Сдвиг – растяжение, деформация или смещение покрытия под воздействием времени/температуры.

Образование перекрестных связей – образование перекрестных связей между молекулами соседних слоев в разогретых смолах в ходе реакции полимеризации.

КРТЭ – (коэффициент распространения тепловой энергии) изменение линейной величины по сравнению с исходной вследствие изменения температуры.

Вулканизация – изменение физических свойств полимера с помощью химической реакции.

Разрушение – ухудшение качества или целостности поверхности. Потеря необходимых физических, химических или электрических свойств.

Отслоение – отделение слоев конформного покрытия друг от друга и от поверхности предмета, на которое наносится покрытие.

Удаление трафарета – процесс удаления или отделения пленки трафарета для нанесения припоя, ленты, обертки.

Низкая налипаемость - предрасположенность материала покрытия к отсутствию способности равномерного налипания по всей поверхности.

Диэлектрическая постоянная – соотношение емкостного сопротивления электродов, между которыми расположен диэлектрик, к емкостному сопротивлению электродов в вакуумной или атмосферной среде.

Диэлектрическая прочность – макс. напряжение, которое может выдержать диэлектрик при особых условиях бес пробоя, обычно выражается в вольтах.

Дилатометрия – процесс измерения расширения.

Разбавление – уменьшение вязкости, которое можно добиться при добавлении растворимых веществ, не вступающих в реакцию, в вещество.

Коэффициент рассеяния – величина, показывающая способность изоляционных материалов и диэлектриков поглощать некоторое количество энергии в виде сигналов переменного тока.

Ежедневный – происходящий каждый день или имеющий дневной цикл.

Дюрометр – единица измерения степени твердости или устойчивости к деформации или образованию разрывов.

ЭМС – электромагнитная совместимость.

ЭМИ – электромагнитное излучение. Излишнее количество электромагнитной энергии, скопившейся в проводниках.

Эмульсия – устойчивая смесь двух или более несмешиваемых жидкостей в виде суспензии благодаря небольшому процентному содержанию в ней эмульгаторов.

ЭП – электрическое перенапряжение. Результат возникновения переизбытка напряжения электрической энергии в сети, в результате чего может возникнуть повреждение компонента.

ЭСР – электростатический разряд. Стремительное выделение электрической энергии, генерируемой электростатическими источниками.

Наполнитель – вещество, добавляемое для увеличения плотности, массы и других характеристик материала.

«***Вздутие***» - дефект, возникающий на поверхности конформного покрытия, напоминающий выпуклость.

Время фиксации – время, необходимое жидкому полимеру, для начала проявления псевдо-эластичных свойств или фиксирования в неподвижном состоянии.

Температура стеклования T_g – температура, при которой аморфный полимер или аморфная часть частично кристаллизованного полимера перешли из твердого и сравнительно хрупкого состояния в вязкую или резиновую субстанцию.

Прочность – способность материала оказывать сопротивление проникновению индентора особого вида при усилии и в особых условиях. Инденторная твердость (при вдавливании), наоборот, связана с проникновением и зависит от модуля упругости и вязкоупругих свойств вещества.

Гептан – любой из изометрических алканов C_7H_{16}; в особенности обычный жидкий изомер, входящий в состав нефти и используемый главным образом в качестве растворителя и при определении октанового числа.

Гибридная система – система покрытий, состоящая как минимум из двух смол с типичным химическим составом.

Гидролитическая стойкость – степень устойчивости полимера к постоянно изменяющимся свойствам вследствие гидролитического воздействия.

Гидрофобные-олеофобные покрытия – покрытия, которые не растворимы в воде и маслах.

Волновое сопротивление – сопротивление, оказываемое по отношению к электрическому току, который представлен электрической цепью совместного сопротивления, электрической емкости, индуктивности

проводника, рассматривается в качестве источника переменного тока или напряжения, изменяющегося во времени.

Ингибирование – неспособность придать материалу покрытия необходимые свойства за определенное время и при заданной температуре, которые определены производителем.

Сопротивление изоляции – степень возможности материалов смежных проводников оказывать друг другу электрическое сопротивление.

Маскирование – процесс нанесения временной пленки, ленты, обертки на участки, где покрытие должно отсутствовать.

Раздел - отдельные участки на поверхности, представляющие место раздела между конформным покрытием и поверхностью, предназначенной для нанесения покрытия.

Мономер – химическое соединение, которое может участвовать в реакции полимеризации.

Справочник по безопасности веществ – предоставляется производителем, в нем содержится важная информация о свойствах веществ с точки зрения безопасности.

Нанесение многослойного покрытия – процесс нанесения покрытия в несколько слоев до получения желаемой толщины покрытия.

ЯБХ загрязнение – загрязнение ядерными, биологическими и химическими загрязняющими веществами.

Олигомер – полимер или промежуточное соединение полимера, содержащее несколько структурных единиц.

Ноздреватость – поверхностный дефект конформного покрытия, напоминающий по виду апельсиновую корку.

Дегазация – удаление газов с рабочей поверхности, на которую наносится покрытие, при нагревании или снижении атмосферного давления, либо при обоих условиях.

Проницаемость – способность молекул одного вещества проникать в кристаллическую решетку другого вещества. Степень проницаемости зависит от молекулярной структуры обоих веществ.

Фоторезист – светочувствительный материал, способствующий затвердеванию части вещества основы под воздействием светового потока.

Полимер – высокомолекулярное соединение, образующееся как при объединении большого числа похожих или непохожих молекул, так и при конденсации небольших молекул воды, спиртов или других растворителей.

Полимеризация – образование длинной молекулярной цепочки из коротких молекулярных цепочек мономера с поперечными связями.

Полисилоксан – полимер, в структуре которого преобладают химические связи между соседними группами атомов SiO.

Срок годности – отрезок времени, в течение которого материал, вещество, продукция сохраняют свои требуемые характеристики и могут использоваться по назначению после вскрытия упаковки или дозатора.

Грунтовка – обработка поверхности с помощью поверхностно-активных веществ, усиливающих адгезию конформных покрытий.

Ремонт – возвращение детали рабочеспособного состояния, при этом может измениться ее конструкция и технические характеристики.

Повторная обработка – процедура повторной обработки не подходящих друг другу деталей вне зависимости от процесса первичной обработки для обеспечения соответствия деталей своей конструкции и рабочим характеристикам.

Вулканизирующийся при комнатной температуре – получение пленки с заданными характеристиками по сухости при комнатной температуре.

Экранирование, нанесение покрытия –

1. происходит при распылении на покрытие КУПП, когда компоненты могут закрывать или «затенять» низлежащую область относительно направления распыления, при этом затененная область оказывается лишена покрытия.

2. Также используется при вулканизации покрытий с помощью УФ лучей, если компоненты затеняют пространство, расположенное под ними, не позволяя протекать вулканизации под воздействием УФ лучей в этой области.

Срок хранения – отрезок времени, в течении которого можно осуществлять хранение материалов, веществ, продукции при заданных условиях окружающей среды, пока они сохраняют свои свойства, отвечающие требованиям, и предназначены для использования.

Усадка – уменьшение объема свеженаносимого влажного слоя вследствие усыхания/вулканизации и превращения его в покровную пленку с заданными свойствами.

Содержание твердой фазы – пропорциональное соотношение «смолы» или полимерных веществ по отношению к носителю растворителя.

Спектроскопия – создание и изучение спектра или процесс применения спектроскопа или спектрометра.

Удаление покрытия - процесс эродирования материала с помощью химических реакций. Вымывающие агенты могут использоваться для удаления конформных покрытий определенного типа при ремонтных работах и повторной обработке.

Поверхностное натяжение – естественный процесс межмолекулярного взаимодействия, замедляющий распространение жидкости по поверхности твердого материала.

Термопластик – пластик, обладающий способностью многократно размягчаться и менять форму без существенных изменений присущих ему свойств при нагревании и затвердевает при охлаждении.

Термореактивный пластик **–** пластик, вступающий в химическую реакцию при повышенных температурах, при этом пластик приобретает относительную тугоплавкость или образует поперечные связи таким образом, что при соответствующем нагревании теряет свойства размягчения и способность менять форму.

Толуол - жидкий ароматический углеводород C_7H_8 , похожий на бензол, но менее летучий, легковоспламеняющийся и токсичный, используется в качестве растворителя в органическом синтезе. Также извенстен как метилбензол.

Эффективность переноса – соотношение перенесенного объема вещества покрытия КУПП к желаемому объему.

«Пузырькование» - образование пузырьков на поверхности между полупроницаемым полимерным пленочным покрытием и другим веществом под осмотическим воздействием в результате взаимодействия водорастворимых веществ с влагой.

Вязкость – свойство полимеров оказывать частичное сопротивление внутренней деформации, которая прямо пропорциональна приложенной силе.

ЛОС – летучие органические соединения, группа соединений, в состав которых входит углерод с небольшим значением давления водяного пара.

Налипание – формирование на поверхности сравнительно однородной клейкой пленки.

Выдерживаемое напряжение – смотрите диэлектрическую прочность.

Модуль Юнга **–** модуль упругости. Величина эластичности материала. Самое низкое значение модуля соответствует наибольшей упругости материала.

2 СПРАВОЧНАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО ХАРАКТЕРИСТИКЕ И ТЕХНИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ КОНФОРМНЫХ ПОКРЫТИЙ

Нижеследующие документы перечислены только в качестве ссылок. В данном руководстве содержание этих документов не раскрывается.

2.8 Характеристика базового оборудования поставщика

Представляет собой техническую документацию в форме технических чертежей, на которых представлены участки электронной аппаратуры, предназначенные для нанесения конформного покрытия, или текстовый документ, в котором перечислены требования и процедуры по отношению к условиям нанесения конформного покрытия. Если речь идет о сборке и производстве аппаратуры, то требования имеют отношение к электрическим выводам, физическим характеристикам, эксплуатационной надежности печатных плат (ПП) в условиях конечного использования. Поскольку каждая ПП уникальна в плане функциональности и электрики, выбор конформного покрытия следует осуществлять, исходя из соображений защиты, которая не наносит ущерба элементам микросхемы электроники во время эксплуатации ПП. Требования, предъявляемые к сроку эксплуатации, должны согласовываться с характеристиками материала и сочетаемостью конформного покрытия с поверхностью основы ПП.

3 АСПЕКТЫ, КАСАЮЩИЕСЯ СОХРАННОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ЗДОРОВЬЯ И БЕЗОПАСНОСТИ

Современные законодательные документы о сохранности окружающей среды, такие как Монреальский протокол и Закон о чистом воздухе оказали существенное влияние на выбор и способы нанесения материалов покрытий, в частности, относительно контроля над летучими органическими соединениями (ЛОС) и разрушающими озоновый слой хлорфторуглеродами (ХФУ). К ЛОС относятся любые растворители со значением давления насыщенного пара выше 0.001 мПа, вступающие в реакцию с соединениями атмосферного воздуха с образованием смога. Было обнаружено, что ХФУ разрушают озоновый слой в верхних слоях стратосферы. ЛОС и ХФУ интенсивно используются в качестве носителей растворителя. Изготовители и поставщики веществ для конформных покрытий несут ответственность за изготовление покрытий на безрастворительной основе, безвредные для окружающей среды способы нанесения покрытий, вулканизацию и удаление покрытия.

Отдельные аспекты, касающиеся сохранности окружающей среды, здоровья и безопасности рассмотрены в разных подразделах. За информацией по обработке обратитесь к п.9.13, по ремонту и повторной обработке – п.11.4.

3.1 Эмиссия

Эмиссия – это процесс выделения веществ в атмосферу , например, растворителей из систем конформных покрытий, флюсов, очищающих средств и др. Конкретные виды растворителей, таких как изопропиловый спирт, ксилол и др. являются жидкими летучими органическими соединениями, содержащими углерод и водород, которые выделяются в атмосферу.

3.2 Утилизация опасных отходов

К опасным отходам относят любые вещества, относящиеся к классу опасных веществ и упоминающиеся в перечне веществ, используемых в производстве, с точки зрения безопасности. Утилизация опасных отходов должна производиться в строгом соответствии с местным, государственным и федеральным законодательством.

3.3 Государственные нормативные документы

Пользователю должно быть известно о любых ограничениях, связанных с использованием продукции или материалов в производственном процессе. Ответы на вопросы об опасных отходах вы можете найти на веб-сайте Агентства по защите окружающей среды http:///www.EPA.gov.

4 ВИДЫ КОНФОРМНЫХ ПОКРЫТИЙ

Конформные покрытия представляют собой полимерный материал, используемый для защиты КУПП от широкого спектра загрязнителей на протяжении всего срока эксплуатации электронного прибора. Конформные покрытия обладают высокой степенью изоляционной защиты и обычно устойчивы к действию многих видов растворителей и жестких внешних условий на протяжении эксплуатационного срока изделия. Материал покрытия также может выступать в качестве нейтрализатора различных частиц на поверхности ПП и служить защитным экраном к различным устройствам ПП.

Конформные покрытия устойчивы к действию влаги, которая может снизить потенциальную вероятность утечки тока, взаимного влияния каналов, электрохимической миграции, роста дендритов и возникновения электрической дуги. Эти обстоятельства следует особенно учитывать при уменьшении размера компонента, шага, пространства схемы, толщины слоя, а напряжение добавляет возрастание скорости (частоты) сигналов.

Конформные покрытия можно разбить на две группы жидкостей: органические и кремнийорганические (силиконовые). Традиционная классификация выглядит следующим образом: акриловые, эпоксидные, силиконовые, уретановые, полипараксилиленовые. На рис.4

проиллюстрирована эта классификация на базе типов химического состава смолы, которые затем подразделяются на подтипы в зависимости от механизма вулканизации. В приложении А даны сравнения различных видов изделий в качестве быстрого руководства для выбора конформного покрытия.

Эти системы главным образом представлены мономерами, олигомерами, пеногасителями, наполнителями и ПАВ, а также эмульсиями на водной основе. Различные комбинации каждого из веществ добавляют к смесям для получения вулканизированных и невулканизированных характеристик. Для выбора приемлемой вязкости могут добавляться растворители. До начала процесса вулканизации растворитель должен испариться, тогда композиционный материал со смоляной матрицей готов к процессу вулканизации. Данный тип вулканизации связан с выделением летучих органических соединений (ЛОС), ввиду чего существует необходимость создания более приемлемого с точки зрения воздействия на окружающую среду производства веществ и механизмов вулканизации. В настоящее время для веществ конформных покрытий на водной основе и на базе растворителей не существуют никаких ограничивающих нормативных документов относительно воздействия на окружающую среду. Смотрите разделы 3, 8.13 и 10.4 по аспектам, касающимся окружающей среды, здоровья и безопасности.

Все смолы, за исключением акриловых, вулканизируются в ходе необратимой реакции полимеризации с формированием разного количества поперечных связей (полимеров термореактивных смол). Поперечные связи эпоксидных, уретановых и силиконовых полимеров обуславливают высокую химическую стойкость, но усложняют удаление покрытия во время проведения ремонтных работ. При нанесении акриловых покрытий реакции полимеризации не протекают. Однако, неверно полагать, что акриловые покрытия подвергаются вулканизации. Акриловое покрытие формируется при осушении раствора уже сформированных акриловых цепочек полимера, растворенного в растворителе (термопластичный полимер). Отсюда, акриловые покрытия легко растворяются во многих органических растворителях, обеспечивая необходимую химическую стойкость, и облегчают проведение ремонтных работ. Следовательно, акриловые материалы могут быть на водной основе и на основе растворителя.

Все покрытия, за исключением полипараксилеленовых (парилены), традиционно были выполнены на базе растворителя, пока 10 лет назад не вышли положения об окружающей среде, согласно которым требовалось внести изменения. В настоящее время существуют много веществ, в состав которых не входит растворитель (100% сухие вещества). Обычным явлением является вулканизация при УФ излучении. Это новое поколение материалов конформных покрытий дало начало гибридным покрытиям, которые

содержат две или более систем для достижения улучшенных свойств, например, ARUR. Смотрите 4.6 для примеров систем из двух составляющих.

При выборе материала конформного покрытия также следует уделить внимание свойствам сырьевого материала и пленки. Для получения более полной информации о химическом составе конформных покрытий вы можете обратиться к изготовителю, либо справочному листку технических данных.

4.1 AR - Акриловое покрытие

Акриловые покрытия легко наносятся и представляют собой осушенную пленку, которую можно легко удалить растворением в растворителе, как описано в разделе 11 ремонт и повторная обработка. Удаление небольшого участка покрытия при ремонте паяного соединения или замене компонента можно произвести с помощью местного нанесения растворителя на нужные участки. В некоторых случаях возможно нанесение припоя без удаления покрытия.

Быстро осушенные акриловые покрытия достигают оптимальных физических свойств в течение нескольких минут, обладают плеснестойкостью и продолжительной долговечностью. Более того, акриловые материалы во время вулканизации выделяют небольшое количество или вообще не выделяют тепла, которое может повредить теплочувствительные компоненты, не дают усадку при вулканизации и обладают высокой влагостойкостью. Акриловые материалы при повышенных температурах размягчаются с большей легкостью по сравнению с другими полимерами.

4.2 ER - Эпоксидное покрытие

Эпоксидные системы обычно доступны в виде соединений из двух составляющих. Они обеспечивают достаточную влагостойкость и хорошую прочность на истирание и химическое воздействие. Их фактически невозможно удалить химическим путем при повторной обработке, поскольку любые растворы для удаления покрытия могут сильно повредить компонент, на который нанесено эпоксидное покрытие, также как сами платы из эпоксидного стекла. Единственным эффективным способом удаления эпоксидного покрытия при ремонте ПП или замене компонента является его прожигание с помощью лезвия или паяльника.

Для покрытия из эпоксидной смолы из одной составляющей можно также применять упрочняющие вещества. Для таких покрытий вулканизация протекает при температурах выше 66^0C. Возможна вулканизация таких покрытий под действием УФ излучения, если при таких высоких температурах она невозможна.

При нанесении большей части эпоксидного покрытия для предотвращения повреждений, которые могут возникнуть вследствие усадки пленки при реакции полимеризации, вокруг хрупких компонентов используют защитный

материал. По возможности вулканизацию проводят при низкой температуре для снижения последствий усадки.

Вулканизация эпоксидных систем при повышенной температуре проходит свыше 3 часов и более семи дней при комнатной температуре. Эффективность использования ограничена коротким сроком годности.

4.3 SR - Силиконовое покрытие

Силиконовые покрытия наиболее эффективны для компонентов, которые испытывают сильное циклическое воздействие температуры, например, автомобильные детали. Полезный рабочий диапазон для этих материалов от -55^0C до $+2000^0$C. Они обеспечивают высокую влагостойкость совместно с хорошей теплостойкостью, что вполне подходит для КУПП с такими тепловыделяющими компонентами, как резистор. Для схем с высоким сопротивлением наиболее приемлемы силиконовые покрытия, поскольку они обладают низким коэффициентом рассеяния. Это наименее требовательные материалы в производстве, поскольку их используют для покрытия большей части поверхности ПП, они прочно держатся на поверхности и обеспечивают хорошую устойчивость к действию полярных растворителей. Повторная вулканизация материалов, вулканизированных под действием УФ излучения, происходит под эффективным воздействием условий влажности окружающей среды. Следует обратить внимание на то, что наличие защиты от воздействия высоких температур может подразумевать вулканизацию при максимальной или близкой к ней температуре. Силиконовые покрытия могут быть достаточно большой толщины >0.3 мм, фиксируя таким образом проводку на ПП.

4.4 UR - Полиуретан

В состав полиуретановых покрытий могут входить один или два компонента. Двухкомпонентные покрытия обеспечивают хорошую стойкость к действию влаги и химических веществ, а также высоко устойчивые диэлектрические свойства.

Химическая стойкость, тем не менее, может служить основным недостатком, поскольку повторная обработка будет затруднительной и дорогой процедурой. Информацию о ремонте и замене компонентов вы можете найти в разделе 11 «Ремонт и повторная обработка».

Ранние полиуретановые соединения являются неустойчивыми и возможен обратный процесс вулканизированной пленки до состояния жидкости в условиях повышенной влажности и высоких температур. Для новых соединений подобные процессы не характерны.

Поскольку полиуретановое покрытие может быть пропаяно насквозь, в результате могут образоваться коричневые остатки, делая покрытие неприглядным с эстетической точки зрения.

Однокомпонентные полиуретановые покрытия легче наносятся, но оптимальная вулканизация при комнатной температуре может занять от 3 до 30 дней. С другой стороны, для двухкомпонентных соединений процесс оптимальной вулканизации при повышенной температуре может занять 1-3 часов, но с долговечностью от 30 минут до 3 часов.

4.5 XY – Полипараксилеленовое (париленовое) покрытие

Это покрытия, наносимые в вакууме. Свойства материала и способ нанесения приводят к тому, что париленовые конформные покрытия абсолютно отличаются от покрытий, наносимых в жидком состоянии. При нанесении покровная пленка растекается толщиной, которая точно соответствует контурам ПП без пузырьков и микропор. Полипараксиленовая пленка также обладает хорошими диэлектрическими свойствами, низким тепловым расширением, хорошей абразивной стойкостью и высокой химической стойкостью по сравнению с другими материалами. Эти свойства дают ей преимущество по сравнению с остальными, применяемыми в целях защиты микросхемы от: неблагоприятного воздействия окружающей среды, в особенности, высокой влажности с конденсатом, прерывистого погружения, соляного тумана, атмосферных примесей и влияния агрессивных растворителей. Покрытия этого типа часто используются в приборах, одобренных FDA, для медицинского и биомедицинского применения. Полипараксилеленовое покрытие можно удалить шлифовкой, традиционной технологией монтажа на поверхность, эксимерным лазером, тепловыми размягчителями, плазменным травлением и некоторыми другими способами. Полипараксилеленовые покрытия очень эффективны при высоком напряжении благодаря острым краям.

Доступны фторированные пленки, которые сохраняют свои свойства при температуре выше 400^{0}C, имеют высокую устойчивость к УФ воздействию и более низкую диэлектрическую постоянную. Полипараксилелены слабо прилипают к ионным остаткам и проявляют слабую ремонтопригодность по сравнению с покрытиями других типов. Восстановленные монолитные пленки часто теряют свои защитные свойства. При нанесении полипараксилеленового покрытия компоненты, не нуждающиеся в покрытии, следует маскировать. При нанесении покрытия в вакууме эффективность маскирования должна быть 100%.

4.6 Двухкомпонентные системы (акриловые/полиуретановые и другие соединения)

4.6.1 Вулканизация под действием УФ излучения и растворителя

Один метод основан на использовании УФ излучения. В этом случае вулканизация протекает в течение нескольких секунд, а не минут или часов. Методы были специально разработаны для нанесения на поверхность обнаженного основания, в частности дает преимущество покрытиям из

оптоволоконных нитей, поскольку вулканизация может быть произведена со скоростью до 122 м/мин.

Использование данных методов для КУПП отчасти может быть ограничено ввиду затеняющего эффекта, создаваемого компонентами. В результате, возникает потребность в катализаторе для ускорения химической реакции вулканизации в местах затенения. Однако отсюда вытекают недостатки двухкомпонентных систем, связанные с их коротким сроком службы и необходимостью смешивания двух веществ для правильного нанесения. Были разработаны однокомпонентные материалы, несмотря на их тяготение к эпоксидной и полиуретановой основе.

Двухкомпонентная продукция тяжело поддается восстановлению, поскольку повторно наносимое покрытие не протравливает поверхность с существующим материалом, а приводит к расслоениям в отдельных местах. Предполагаемая надежность покрытий данного типа при температурах ниже -55^{0}С или выше +130^{0}С, иначе покрытия становятся хрупкими и менее эластичными.

4.7 Другие конформные покрытия

4.7.1 Фторуглерод (FC)

Фторхимические поверхностные модификаторы являются гидро- и олеофобными покрытиями, которые уменьшают поверхностную энергию основания до 11-12 мН/м. Это свойство позволяет воде, смазочным маслам и таким растворителям, как гептан, толуол и ацетон, скапливаться и скатываться с поверхности основания в виде пузырьков. Эти покрытия наносят в качестве тонкого быстро сохнущего слоя, который можно пропаять насквозь при восстановлении и часто не требуют процедуры маскирования. Покрытия обычно предоставляются в виде фторуглеродных растворителей, которые не воспламеняются, низкотоксичны и не летучи. Слабая вязкость и слабое поверхностное натяжение покрытий позволяют им проникать между и заполнять небольшие промежутки и слои. Покрытия с фторхимическими поверхностными модификаторами обладают маленькой толщиной и слабой устойчивостью к абразивному воздействию, но не растворимы по отношению к действию большинства органических растворителей, имеют неопределенный срок годности ввиду полной реакционности полимера в растворе.

Эти покрытия обычно не наносят в условиях, когда рабочая температура превышает 40^{0}С, поскольку вещество начинает испаряться.

4.7.2 Перфторэфир

Для конкретного процесса нбанесения покрытия, включающего длительное воздействие топливом, углеводородными маслами, рабочей жидкостью гидравлических систем, неполярных растворителей, кислот или оснований,

можно рассмотреть вариант использования покрытий соединения перфторэфира. Это полимер на базе перфторэфира в основании (фторированный углерод к кислороду), который связан поперечными связями с дополнительно вулканизированным кремнийорганическим соединением. Для однокомпонентных перфторэфирных соединений применяют такие же технологические приемы (распределение/распыление и вулканизацию), что и для силиконовых покрытий, вулканизирующихся при нагревании. Распыление и распределение таких покрытий производят с помощью обычного имеющегося в наличии оборудования, а вулканизация при нагревании происходит при 150^0С в течение одного часа.

Эластомер перфторэфирных покрытий обеспечивает улучшенные низкотемпературные характеристики, стойкость к длительному нагреванию, адгезию при заливке, превосходные электрические характеристики и ионную чистоту. Является 100% твердым веществом (не растворителем), что дает целый ряд преимуществ, не сравнимых с другими стандартными фторсодержащими эластомерами. Термостойкость и низкий модуль аналогичны свойствам кремнийорганических соединений, обеспечивая защиту от неблагоприятного воздействия окружающей среды.

5 РАЗРАБОТКА С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ПОКРЫТИЯ

Данный раздел посвящен описанию концепции, рекомендаций и процедур процесса разработки покрытий, предназначенных для продвижения подходящего порядка осуществления действий «Надежностного проектирования» и обеспечения надежных характеристик КУПП с конформным покрытием.

В данном разделе дается следующее определение надежности: надежность – это способность изделия безотказно функционировать при заданных условиях в течение определенного промежутка времени.

В данном разделе рассматриваются аспекты, связанные с надежностью конструкции изделия, разработкой производственного процесса, а также выбором материала/компонента и квалификацией во время использования конформных покрытий в соответствии с рекомендациями, данными в IPC-D-279. В этом разделе также перечислены другие существующие на данный момент документы IPC, в качестве рекомендуемой литературы, в которой подробно раскрыта базовая информация. Данный раздел предназначен для разработчиков и пользователей конформных покрытий для электроники, осознающих значение различных факторов, влияющих на защитные свойства ПП с покрытием в среде конечного использования, которые наносятся для продления срока службы ПП.

5.1 Конструктивные особенности

До начала процесса проектирования изделия, проектировщики изделия и сборочного процесса должны обладать информацией о требованиях, предъявляемых заказчиком к уровню надежности изделия. Требования должны быть определены и ранжированы межфункциональной группой разработчиков или при параллельных инженерных работах с помощью технологии развертывания функций качества, позволяющей выявить потребности заказчика.

Проектная группа может включать, но не ограничиваться членами, принимавшими участие в процессе проектирования, упомянутого в IPC-D-279. В этой таблице DfA/M означает проектирование сборки/технологичности, DfT – проектирование тестируемости, DfR – проектирование надежности.

Проектная группа может рассмотреть общие руководства по проектированию, представленные в тексте данного раздела, в качестве способа достижения заданного показателя надежности. IPC-D-279 содержит информацию, иллюстрирующую характер взаимосвязи конструкции и надежности производственного процесса.

5.1.1 Требования, предъявляемые к уровню надежности

Необходимо дать определение следующим требованиям (но не ограничиваться ими):

- Срок эксплуатации.
- Частота отказов/вероятности отказов как функции времени.
- Стратегия ремонта/замены/усовершенствования/эксплуатации/технического обслуживания/гарантии.
- Условия эксплуатации.
- Определение приемлемых характеристик.
- Критичность функций.
- Доступность испытательного оборудования.
- Среднее время между техническим обслуживанием.
- Среднее время между отказами.

5.1.2 Понимание эксплуатационного периода изделия

Эксплуатационный период изделия начинается с компонентного уровня (включая ПП) и продолжается до и после этапа сборки. Внешние воздействия, оказывающие влияние на протяжении всего эксплуатационного периода, включают: условия сборки/обработки, испытания, хранения, транспортировки и рабочие условия.

Условия хранения и транспортировки необходимо рассмотреть как на компонентном уровне, так и на уровне сборки, а также до, во время и после нанесения покрытия.

5.1.3 Факторы внешней среды, воздействующие на изделие

Для каждого отдельного случая из 5.12 важно установить, охарактеризовать и определить количество всех параметров, которые могут оказывать влияние на технические характеристики изделия. К ним относятся: уровень влажности и давление окружающей среды, диапазон, скорость изменения и время воздействия температуры, например, температурные циклы, возникающие при эксплуатации изделия. Во время эксплуатации некоторых приборов могут возникать физические вибрации и сотрясения. Следует учитывать такие электрические параметры, как ЭМС, ЭМИ, ЭП, ЭСР и воздействие высокого напряжения. Внешние условия оказывают большое химическое воздействие на конкретном уровне благодаря наличию таких общих веществ, как соли, распылительные компоненты и топливные составляющие, и таких специфичных химических веществ, как флюсы, растворители, ЯБХ загрязнители и т.д. Не следует пренебрегать солнечным, УФ и другого рода излучением; химически активными газами (SO_x, NO_x, H_2S, CI_2, O_3 и др.), кислотами, находящимися в воздухе и на поверхности, субмикронными частицами и загрязняющими веществами, находящимися в пыли, масле, или остающимися после контакта с человеком.

После обнаружения и определения факторов внешней среды, воздействующих на изделие, инженерная группа готова к анализу и выбору конформных покрытий, способу их нанесения и запрашиваемой испытательной стратегии.

5.2 ПП/Печатные платы

Печатные платы являются одними из основных субкомпонентов компоновочных узлов ПП с конформным покрытием. Другие субэлементы ПП, которые были рассмотрены при проектировании конформных покрытий и их выборе включают обработку поверхности, размещение на расстоянии проводки компонентов или деталей ПП, отдельных и интегрированных компонентов ПП, конфигурации паяных соединений и т.д. Несмотря на то, что ПП является единственной самой крупной деталью компоновочного узла ПП с конформным покрытием, ПП играют значительную роль при определении типа конформного покрытия и наиболее приемлемого способа нанесения. Рассмотрения требуют такие свойства ПП, как расслоение

диэлектрика, адгезив препрега, металлизированный сигнальный слой, схема контактной площадки, проект крепления деталей с монтажом на поверхность, форматное соотношение металлизированных монтажных отверстий (несквозных и скрытых). Тем не менее, при определении подходящего конформного покрытия и способа нанесения важное значение имеют материалы конструкции ПП.

5.2.1 Поверхности, на которые наносят покрытия

К данным поверхностях относятся металлические участки на наружной поверхности ПП или в сквозных отверстиях, сегменты припоя после травления и удаления фоторезистов. Эти участки, как правило, обнажают медь, на них наносят покрытия из олова/свинца. В некоторых случаях на большие металлические участки часто наносят покрытия с другими металлорганическими соединениями, к примеру, никель или даже трафарет для нанесения припоя. В большинстве случаев поверхности с покрытием будут иметь непохожие металлические интерфейсы, чем если бы на них было нанесено конформное покрытие. Кроме того, конформное покрытие может быть нанесено на поверхность частично или полностью. В случае частичного покрытия, края покрытия могут расслаиваться или терять адгезивные свойства по отношению к поверхности металла с гальваническим покрытием.

5.2.2 Альтернативная отделка поверхности

Один из участков на поверхности компоновочного узла ПП, конформное покрытие которого в данном месте должно обладать некоторыми клейкими свойствами, представляет собой поверхностную фактуру ПП. Поверхностная фактура представляет собой вещество на металлизированных участках наружной поверхности ПП, которые образуются в процессе производства обнаженных ПП. Прежние образования в этих местах – медные остатки после травления и обработки других ПП до оплавления никеля/свинца. Новейшие технологии используют материалы, альтернативные олову/свинцу, которые используются в качестве покровных на поверхности ПП до обработки компоновочного узла. Эти материалы включают: медь на обнаженной поверхности, олово, серебро, золото, полученные погружением, электролитический никель в соединении с золотом и/или палладием, органическое защитное покрытие при пайке и другие аналогичные типы сплавов.

Во многих случаях некоторые участки фактуры поверхности ПП не изменяют, если нет паяных соединений, и они являются частью общего основания ПП. В зависимости от фактуры поверхности ПП, металлические интерфейсы могут отличаться, что может привести к коррозии, если нет защиты от условий повышенной влажности. Материал конформных покрытий в дальнейшем необходимо рассматривать с точки зрения антикоррозийной защиты совместно с защитным барьером от воздействия окружающей среды. Соединение разнородных металлов альтернативно

отделочной обнаженной медной поверхности также является поверхностью, требующей оценки адгезии конформного покрытия.

Во многих ситуациях условия могут потребовать проведения квалификационного испытания с использованием типичного образца ПП до того, как будет принято решение о приемке конформного покрытия.

5.2.3 Размещение с интервалами

Если теплопроводные поверхности на краях КУПП или границ, сопряженных с теплоотводами (например, боковые зажимы платы и холодные пластины) окажутся под конформным покрытием, в результате может произойти пониженный съем тепла с КУПП (и возникнуть увеличение температуры перехода). Решением может служить расширение проводников, функционирующих в качестве тепловыделителей. Рекомендуется ограничить ΔT проводника до значения менее 5^0C, если возможно.

Другим важным аспектом относительно размещения на КУПП является положение в зонах между смежными трассами печатных плат или между контактными площадками припоя на уровне ПП. Другим аспектом является физическое расстояние между соседними выводами спаянных компонентов электроники. Во всех указанных случаях поверхности необходимо покрывать конформным покрытием. Для паяных компонентов с выводами электропроводки требуется наличие покрытия по всей поверхности без соединительных спаек между соседними выводами для установления необходимой диэлектрической изоляции. Тип используемого конформного покрытия обычно зависит от расстояния между выводами (шаг вывода) вне зависимости от формы, цилиндрической или прямоугольной. Для приборов, имеющих выводы с малым шагом, для достижения равномерной толщины следует учитывать самый мелкий шаг, например, кратчайшее расстояние и зазор между соседними выводами, и покрытие с низкой вязкостью, несмотря на край и точку охвата покрытия.

5.2.4 Маскирование припоя

Вопросы совместимости паяльной маски с конформным покрытием следует рассматривать во время разработки ПП, предназначенной для нанесения конформного покрытия. Информацию по совместимости материалов паяльной маски вы можете найти в п.8.1.1.

5.3 Компонент

В электронных схемах широко используются компонентные корпуса различных видов. Материал корпуса существенно изменяется, в его состав могут входить: вещества разделительного состава, парафины, пластик, керамика, маркировочные чернила, металлы, стекло и различные другие вещества. Степень адгезии конформного покрытия, несоответствие коэффициента теплового расширения, модуль сдвига и общие

характеристики налипания этих веществ следует учитывать, если предвидится нанесение конформного покрытия.

Нанесение излишнего количества веществ конформного покрытия (избыточная толщина) может отрицательно повлиять на долгосрочную надежность большинства компонентов с выводами и без, за исключением компонентов с перемычкой, наполнителем или каплей в верхней части.

5.3.1 Типы материалов компонента

5.3.1.1 Пластик

После завершения процесса литья под давлением при освобождении корпуса используют различные разделительные составы. Поставщики компонентов сами выбирают эти разделительные составы, они также вынуждены сообщать его точную формулу, чаще всего это вещества на основе кремнийорганических соединений. Эти вещества могут влиять на степень смачивания и адгезию конформного покрытия (или любого другого адгезива) по отношению к корпусу. Пластиковый корпус может абсорбировать различные действующие вещества, такие как флюсы и чистящие средства.

5.3.1.2 Керамика

Керамические корпуса обычно не представляют большой угрозы большинству конформных покрытий. Иногда могут встретиться с цветной маркировкой, при этом следует учитывать красящие вещества, но они редко представляют проблемы для конформных покрытий. Маркировальные чернила, тем не менее, могут содержать полисилоксан, который может мешать процессам смачивания и налипания конформных покрытий, возникающих чаще всего в области места маркировки.

5.3.1.3 Металл

В настоящее время металлические корпуса среди всех используемых типов корпусных материалов используются меньше всего. Составы большинства конформных покрытий разработаны с учетом их наилучшей налипаемости к поверхностям. Особое внимание следует уделять используемым маркировальным чернилам и/или переводным рисункам, поскольку они могут служить причиной возникновения локализованного отслоения и/или потери налипания.

5.3.1.4 Стекло

Компоненты из стекла, такие как диоды, обычно не представляют угрозы конформным покрытиям и свойствам налипания. Прежде всего рассматривают область покрытия, окружающего компонент. Слишком тонкое жидкое отверждаемое покрытие может привести в напряжение корпус компонента и образовать трещину и/или ослабить место пайки в результате резкого температурного перепада. Дополнительно к правилам конечного

использования, предусматривающим высокую вибрацию и температурный перепад, могут использоваться низкомодульные промежуточные соединения.

5.3.2 Детали с установкой в отверстие

К деталям для установки в отверстие относят приборы, которые размещают на ПП в специальных отверстиях. Они могут иметь много проводов (выводов) и состоять из различных металлов, их размещают с помощью напаивания припоя перед непосредственной вставкой для улучшения паяльных свойств выводов. Деталь вставляется в отверстие один раз, после чего для лучшей фиксации ее провода можно зажать и подрезать. После пайки на нижней поверхности платы обрезанные провода обычно образуют острый край. В этих местах особенно затруднительно наносить конформное покрытие. Жидкие конформные покрытия обычно не наплавляют на острые края, потому что под силой притяжения они смещаются к основанию проводов и месту припоя. Крайне малая часть материала покрытия может быть оставлена на краях обрезанных проводов.

Следует принять во внимание абразивное изнашивание покрытия на краях проводов, возникающее при дальнейшей эксплуатации. Химический состав покрытия, способ нанесения, механизм вулканизации диктуют успех в области создания пленки именно в этих областях. При нанесении покрытия на контакты (штырьки) обычно рекомендуется наносить несколько покрытий с высокой вязкостью.

5.3.2.1 Детали, вращающиеся на валу

Вращающиеся на валу детали - это детали для установки в отверстие. Они обычно изогнуты под углом 90 градусов и вставлены в отверстия платы. Их можно согнуть, обрезать и припаять. Поскольку большинство деталей имеют цилиндрическую форму, конформное покрытие должно повторять округлую структуру вокруг и под приборами такого типа. Это может вызвать затенение в процессе затвердевания одного компонента при нанесении конформного покрытия под воздействием УФ излучения. Это также может привести к напряжению детали из-за несоответствия коэффициентов теплового расширения. Аксиальные выводы обычно имеют более тонкое покрытие по сравнению с плоскими сторонами, поскольку влажное покрытие под действием силы гравитации стекает вниз к месту пайки. Время с момента нанесения покрытия до его затвердевания или фиксации может также влиять на толщину финишного покрытия. В частности, это очень важно, если в состав используемого покрытия не входит растворитель.

5.3.3 Детали с выводами с монтажом на поверхность

Компоненты, имеющие независимые выводы, далеко выступающие за пределы самого компонента, называют деталями с выводами. Форма и длина выводов могут определять фактическую толщину конформного покрытия,

предназначенного для данного типа выводов. Время, прошедшее с момента нанесения до затвердевания или фиксации покрытия, может также влиять на толщину финишного покрытия в данной области размещения свинцовых деталей.

Шаг выводов или расстояние между выводами также должны учитываться при разработке покрытия. Вещества некоторых конформных покрытий с высокой вязкостью могут обладать недостаточной проникающей способностью, что мешает им попасть под тонкие штырьки выводов и проникнуть под деталь. Это может стать причиной образования пузырей в покрытии во время его затвердевания, поскольку молекулы воздуха, заключенного под деталью, при нагревании начинают активно двигаться и «ищут выход». Если пузыри не лопнут до реакции полимеризации, может произойти связывание проводников и ослабление изоляции вследствие затвердевания покрытия вместе с пузырями.

5.3.4 Детали с монтажом на поверхность, не имеющие выводов

Если концы детали являются ее неотъемлемой частью, такую деталь определяют как не имеющую выводов. Могут включать компоненты корпуса BGA, корпуса PGA, перевернутого кристалла, корпуса с размерами кристалла, ИС, безвыводного кристаллодержателя и другие компоненты кристаллического типа.

5.3.4.1 Корпус BGA

Детали корпуса BGA не имеют выводов. Они имеют наплавления на нижней стороне, периферические или распределенные по всей поверхности. Конечный зазор под деталью после сжатия места припоя может быть 0,5 мм-1,3 мм. Обычно этого бывает достаточно для проникновения конформного покрытия под действием капиллярных сил под деталь. Основной проблемой является образование остатков припоя, поскольку удаление остатков и осмотр области под деталями данного типа может быть затруднен или невозможен. Многие детали данного типа до нанесения конформного покрытия не полностью обрабатываются эпоксидной смолой.

5.3.4.2 Корпус PGA

Корпус PGA похож на корпус BGA с той лишь разницей, что вместо шариков припоя имеются штырьки. Характеристики, влияющие на свойства конформного покрытия, аналогичны таковым для корпуса BGA.

5.3.4.3 Перевернутый кристалл (COB, CSP)

Приборы с перевернутым кристаллом представляют собой бескорпусные кристаллы, имеющие наплавления припоя на контактной стороне. Наплавление припоя офлюсовано, кремнийорганический кристалл перевернут, производят оплавление припоя. Затем прибор неполностью

обрабатывают эпоксидной смолой, создавая полную изоляцию и кромку вогруг детали. Конформное покрытие можно наносить на кристаллы. Склеивание и налипание к эпоксидной кромке обычно не представляет проблем.

Недоливку можно также применять на уровне кремниевой пластины с помощью анизотропного адгезива этапа В. Есть варианты, содержащие флюс в эпоксидной основе, отсюда «эпоксидная недоливка», исключающая этап флюсования.

5.3.4.4 Перемычка и заливка

Приборы данного типа похожи на перевернутые кристаллы с той лишь разницей, что кристаллы лицевой поверхностью обращены вверх и до сих пор имеют проволочное соединение. Поэтому их относят к приборам с выводами до герметизации.

Кристаллы крепятся к нижней стороне с помощью специального клея для кристаллов, чаще всего это эпоксидная смола с проводящими свойствами. Проволочное соединение кристаллов представляет собой поверхность кристалла, соединенного с основанием или рамкой с внешними выводами. Используя эпоксидную смолу высокой плотности, перемычки распределяют вокруг внешних границ детали. Высота перемычки должна превышать высоту самых высоких проволок, соединяющих кристаллы. После этого вторичный эпоксидный материал с более низкой вязкостью распределяется по поверхности перемычки и происходит их одновременное затвердевание. Благодаря такому процессу происходит полная герметизация детали. Повторное проведение описанной процедуры нецелесообразно.

Конформные покрытия в первую очередь предназначены для защиты остальных проводников и безвыводных деталей, размещенных на плате. Если деталь имеет покрытие, обычно не возникают проблемы, связанные с налипанием и склеиванием покрытия и корпуса, полностью обработанного эпоксидной смолой.

5.3.4.5 Верхушка капли

Верхушка капли похожа на перемычку и заливку, с той лишь разницей, что эпоксидный герметик, имея высокую вязкость, распределяется только по центру кристалла. Герметизацию проволок, соединяющих кристаллы, следует проводить с осторожностью, не нанося повреждений тонким выводам и избегая излишнего количества эпоксидной смолы. Затем происходит отверждение. Высота капли эпоксидной смолы должна превышать самый высокий изгиб скрепляющей кристаллы проволоки на 30%. Капли не создают помех конформному покрытию, поскольку изначально имеют другое назначение.

5.4 Электрическая составляющая

Конформные покрытия могут оказывать как положительно, так и отрицательно воздействие на электрику ПП. В первую очередь это зависит от расчетных параметров микросхемы и материала конформного покрытия. Степень положительного или отрицательного воздействия зависит от качества разработки, как указано ниже.

Существуют несколько отдельных категорий электронных микросхем/компоновочных узлов, которые будут кратко описаны с точки зрения воздействия, которое на них могут оказать конформные покрытия. К воздействиям относят: высокое напряжение, сильный ток, РЧ и микроволны, высокоскоростной цифровое воздействие наряду с ЭСР и ЭМИ. Перечисленные факторы внешнего воздействия имеют отношение только к трассам микросхемы на внешней поверхности ПП. Другими словами, данные трассы находится в непосредственном контакте с конформным покрытием.

5.4.1 Высокое напряжение/сильный ток

Один из случаев – микросхема высокого напряжения, когда для ПП, работающей в конкретных условиях, требуется конформное покрытие. Конформное покрытие используется для обеспечения лучшей изоляции между выводами с высоким напряжением по сравнению с обычной воздушной изоляцией. Такая дополнительная изоляция необходима для предотвращения образования электрической дуги, короны и огней Эльма. Лучшим способом изготовления микросхем высокого напряжения с высокой степенью надежности является использование конформных покрытий или других герметиков после этапа сборки. Конформные покрытия не используются вместо электрической изоляции проводов с высоким напряжением.

Следовательно, важной характеристикой конформных покрытий, используемых для микросхем высокого напряжения, является их диэлектрическая прочность. Данную диэлектрическую прочность материала конформного покрытия, максимальное напряжение микросхемы и толщину покрытия можно рассчитать по следующей формуле:

$$T = V \times 6.44 \times 10^{-6}$$

где: T – толщина покрытия в дюймах, V – напряжение в вольтах. Для микросхем высокого напряжения можно использовать критические значения напряжения.

С другой стороны, конформные покрытия, наносимые на микросхемы сильного тока, обычно оказывают отрицательное воздействие. Сильный ток означает нагрев, распространению которого должно противостоять конформное покрытие. Это означает, что ключевой характеристикой покрытий микросхем сильного тока является достаточная теплопроводность. Другими важными показателями являются высокая точка плавления и

температура стеклования (T_g). Если значения точки плавления и/или T_g слишком низкие, покрытие может оплавиться или деформироваться при распространении тепла, создаваемого силой тока.

Микросхемы высокого напряжения и сильного тока нуждаются в конформном покрытии с хорошими показателями электрической изоляции для выдержки высокого напряжения и теплопроводности для распространения теплоты, образующейся за счет высокой силы тока. К сожалению, материалы с хорошими показателями электрической изоляции как правило обладают низкой теплопроводностью. Следовательно, необходимо компромиссное решение, основанное на разработке микросхемы, способов ее использования, условий эксплуатации и т.д. Производство высококачественных ПП требует тщательной инженерной работы по разработке, выбору компонентов и материалов.

При поиске конформного покрытия в целях защиты от разряда для таких деталей, как разъемы, толщина пленки менее 0,5 μm может быть приемлема. Обращайте внимание на выдерживаемое напряжение материала покрытия.

5.4.2 РЧ и микроволны

Материал ПП может различным образом оказывать влияние на распространение РЧ и микроволновых сигналов. Для конформных покрытий предпочтительнее всего будет отсутствие каких-либо воздействий или их подавление, установленные воспроизводимые изменения характеристик.

В идеале, диэлектрическая постоянная конформного покрытия должна быть максимально приближена к 1, что соответствует вакуумной среде, и должна поглощать как можно меньше энергии РЧ излучения. На практике инженеры-конструкторы РЧ излучения используют вещества с уже известным воздействием на микросхемы, которое можно предотвратить и скорректировать при необходимости. Поэтому инженеры, которые обычно малознакомы со свойствами веществ, пробуют новые вещества с особой осторожностью. Дополнительная сложность связана с тем, что нет веществ, проявляющих абсолютно одинаковые свойства в разных местах всего диапазона РЧ и микроволновых сигналов. Это означает, что микросхемы в диапазонах очень высоких частот и ультравысоких частот задействуют вещества, отличающиеся от веществ, которые задействуют микросхемы в микроволновом и миллиметровом диапазонах. Любые материалы, у которых диэлектрическая постоянная сильно изменяется в высокочастотном диапазоне, не следует использовать в очень широком диапазоне.

По отношению к конформным покрытиям можно выделить несколько правил. Значение диэлектрической постоянной должно быть близко к 1. Покрытие должно обладать слабой абсорбцией РЧ излучения. В этой связи полиуретановые пены имеют хорошие показатели. Если используются обычные конформные покрытия, очень важно наносить их равномерно и

контролировать толщину. Наконец, все эти вещи допускают использование октавной полосы частот РЧ спектра. Наиболее часто применяют акриловые и полиуретановые покрытия благодаря их простоте в использовании, возможности повторного нанесения и множеству формул, дающих оптимальные характеристики в разных диапазонах частот. Для более равномерного нанесения покрытия часто лучшим способом является вакуумное осаждение.

5.4.3 Высокоскоростная цифровая обработка

Во многих случаях при высокоскоростной цифровой обработке к конформным покрытиям предъявляют те же требования, что и для ВЧ микросхем на той же частоте.

Акриловые и полиуретановые покрытия способствуют достижению скорости сигналов микропроцессора и высокоскоростных цифровых сигналов 10 Гбит/сек. Важно отметить, что переменный ток приводит электроны в возбужденное состояние больше на периферии, чем в центре проводника. Получается, границы проводника переменного тока обладают большим потенциалом для электрохимических реакций благодаря наличию лишних остатков по сравнению с постоянным током.

5.4.4 Контролируемое сопротивление

В 6.4.2 «РЧ и микроволны» было указано, что в идеале диэлектрическая постоянная конформного покрытия равняется 1 для того, чтобы как можно меньше изменять параметры микросхемы. Однако, замена параметров не всегда является желательной, в особенности это касается сопротивления микросхемы. Одним из способов изменения сопротивления микросхемы является интенсивное использование покрытия с диэлектрической постоянной больше 1. В случае микрополосы по формуле: $Z_0 = 377\frac{h}{w}\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)$, можно найти характерное сопротивление микрополосы. В данной формуле: h – высота полосы выше земной поверхности, w – ширина полосы, ε - относительная диэлектрическая постоянная базового материала ПП. При нанесенном конформном покрытии, ε_r следует заменить на ε_{eff} и вести рассчеты с учетом диэлектрических постоянных базового материала и конформного покрытия. Дополнительное покрытие может увеличить эффективную диэлектрическую проницаемость (ε_{eff}) среды, так же как линии передачи (трасса и обратная дорожка ее сигнала). Теоретически сопротивление системы можно изменить, правильно выбрав материал с нужным значением диэлектрической постоянной. На практике есть

несколько материалов, позволяющих производить точную настройку и жесткий контроль их диэлектрической постоянной. Это в особенности верно для конформных покрытий, представляющих собой смесь из двух частей. Даже при использовании автоматического распределителя распределение покрытия на детали платы может быть неравномерным вследствие варьирования их диэлектрической постоянной. Гомогенность и воспроизводимость являются самыми важными характеристиками любых материалов покрытий. Обычно кремнийорганические материалы предоставляют хорошие результаты, но имеют довольно узкий диапазон диэлектрических постоянных (обычно 5-10). Акриловое и эпоксидное производство требует особой осторожности для обеспечения гомогенности покрытий, но тем не менее, они практичны и могут применяться в более широком диапазоне значений. Вакуумное нанесение покрытия имеет хорошие результаты в плане гомогенности и воспроизводимости до тех пор, пока параметры процесса остаются неизменными.

Наличие покрытия увеличивает значение диэлектрической постоянной среды. В результате, сопротивление линии передачи уменьшается и становится меньше, чем если бы было без покрытия. Чем ближе значение диэлектрической постоянной покрытия к 1, тем незаметнее влияние на сопротивление. Для предотвращения «обратной потери» или коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) эти явления необходимо принять во внимание при разработке покрытия.

Покрытия будут оказывать аналогичное влияние на сопротивление высокоскоростной цифровой микросхемы. Разница лишь в том, что результаты менее драматичны в случае применения высокоскоростной цифровой обработки, поскольку цифровые микросхемы имеют гораздо большую устойчивость к отражениям сигнала и помех по сравнению с аналоговыми микросхемами. Согласно эмпирическому правилу покрытия будут уменьшать сопротивление трассы от 1 до 3 Ом в зависимости от толщины и значения диэлектрической постоянной материала покрытия относительно толщины и диэлектрической постоянной материала ПП между трассой и ее обратной дорожкой (земляной слой). Несмотря на отсутствие отрицательного воздействия на целостность сигнала при использовании цифрового метода, его следует принять во внимание.

5.4.5 ЭМИ/ЭСР

Электронные компоновочные узлы, предназначенные для постоянной эксплуатации, ремонта, модификации и др. нуждаются в некоторой защите от

разрядов, образующихся при эксплуатации. Стандартной моделью, используемой при проверке электростатического разряда, является модель человеческого тела, состоящая из конденсатора 15 пФ через резистор 1500 Ом при макс. кВ. Это означает, что покрытие должно выдерживать высокое напряжение, но с небольшой величиной разряда позади. Рекомендации, данные в 6.4.1 полностью применимы для данного случая. Покрытия обычно не используют в защитных целях от электростатических разрядов.

С другой стороны, лишь небольшое число конформных покрытий способны ослаблять электромагнитную интерференцию. Для надлежащего контроля за электромагнитной интерференцией необходимо знание многих вещей. Одна из таких – как правильно экранировать ПП для предотвращения излучения электромагнитной интерференции, другими словами, восприимчивость к ЭМИ. Экранирование заключается в том, что ПП помещают в проводник, который затем заземляют. Теоретически проводящее покрытие отлично служит, но на практике получается, что вероятность возникновения коротких замыканий электропроводки различных компонентов делает этот процесс непрактичным. Важно выбрать такое конформное покрытие, которое не усложняло бы эту проблему.

5.5 Зона охвата покрытием

Вопросы, связанные с областью нанесения покрытия, должна решать группа разработчиков с учетом среды конечного использования. Рассмотрению подлежат следующие факторы:

- Покрытие должно быть нанесено на все паяные соединения и незащищенную электропроводку.
- Участки несмонтированной платы без трасс или соединений не нуждаются в покрытии, но его можно выбрать по опции в чисто косметических целях.
- Нанесение покрытия из чисто косметических соображений может иметь негативные последствия для производственного цикла компоновочного узла и стоимости эксплуатации.
- Компоновка деталей.

Обычно покрытие не наносится н следующие участки: разъемы, контрольные точки, компоненты с переменными значениями, точки заземления,

переключатели, дисплейные экраны, штепсельные контакты, области механического интерфейса и т.д.

Наложение маски защищает конформное покрытие на некоторых участках. Однако, нанесение маски - достаточно трудоемкая процедура, в особенности вокруг сложных узлов. Поэтому, процесс нанесения маски следует продумывать на этапе разработки ПП. При необходимости нанесения маски лучше применять такую, которая легко наносится и удаляется.

Пользователи осведомлены, что конкретные виды масок, например, жидкие маски, со временем затвердевают и приобретают каучукоподобную консистенцию, из-за которой могут возникнуть проблемы, связанные с тем, что их невозможно полностью удалить с электрических контактов разъемов, штепселей и других аналогичных интерфейсов. Очевидно, что большинство соединений с латексными маскам на синтетической основе могут ухудшать протекание электрохимических реакций на поверхности компоновочного узла.

5.6 Нанесение маски

Маска наносится на те участки ПП, где не должно быть покрытия. Традиционно для определения участков, предназначенных для нанесения маски, используют наглядную диаграмму и технические характеристики. Наглядная диаграмма представляет собой очень простой способ определения границ зоны маскирования. Процессы нанесения и удаления маски являются очень трудоемкими. При разработке ПП следует стремиться к тому, чтобы свести к минимуму число участков, которые необходимо предохранять маской при нанесении конформного покрытия. Технические характеристики содержат информацию о том, каким образом использовать различные маски и, что в особенности важно, поэтапную процедуру нанесения масок в случае использования масок различного типа. А также есть информация о том, какая технология маскирования наиболее приемлема для использования. Вся эта информация (наглядная диаграмма и технические характеристики) имеет важное значение при нанесении конформного покрытия.

На рис. 5-1 представлен пример чертежа компоновочного узла с указанием участков, предназначенных для маскирования.

Большую помощь могут оказать пояснения, в которых дается более подробное описание компонентов. К примеру, если от покрытия необходимо защитить только контактные штырьки, маска может быть нанесена на весь контакт.

Предпочтительнее иметь изображение обоих сторон ПП.

5.7 Чертежи и руководства по разработке

Для нанесения конформного покрытия на ПП необходимо располагать справочной информацией о материале и технологическими требованиями, а также чертежами. Технические характеристики материала обычно учитывают все требования, предъявляемые к материалу конформных покрытий. Технологические требования чаще всего охватывают все требования, связанные с нанесением покрытия, а также должны включать детали перехода на последующие этапы многоступенчатого процесса нанесения покрытия. Примеры могут включать очистку после пайки, маскирование, эксплуатацию (безопасное электронное распределение программных средств), удаление маски и осмотр. На диаграммах, поскольку они являются своеобразным руководством, должны быть обозначены пунктирной линией или штриховкой участки, предназначенные для нанесения конформного покрытия.

Руководства по разработке процесса использования конформных покрытий всегда должны включать список требований, требующих рассмотрения. В большинстве случаев торговые исследования проводят для оценивания ситуаций, когда ПП требуют наличия конформного покрытия, а также какой вид и способ нанесения конформного покрытия лучше всего использовать. В данном списке должны учитываться все традиционно используемые критерии/руководства по разработке как в обычной инженерной практике.

5.8 Допустимость повторной обработки/восстановления

Если на протяжении эксплуатационного периода изделия предполагается замена ПП и/или его компонентов, процедуры нанесения и удаления конформного покрытия следует учитывать на этапе разработки конструкции изделия. Прежде всего это относится к определению степени значимости таких характеристик, как допустимость повторной обработки/восстановления. Нежелательным является восстановление монолитной, гомогенной пленки при нанесении покрытия после переделки детали, за исключением акриловых покрытий. Более подробную информацию о переделке/ремонте вы можете найти в разделе 10.

с.15 Рисунок 5-1 Чертеж компоновочного узла с указанием участков для маскирования

6 ХАРАКТЕРИСТКИ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА

6.1 Вязкость

Приложение тангенциального напряжения к жидкости выражается в остаточной деформации, так называемой текучести. Вязкость жидкости можно определить как сопротивление текучести, это внутреннее трение. Сопротивление текучести возникает в результате следующих явлений: (1) межмолекулярного сцепления (когезии) и (2) перемещения молекул из одного слоя жидкости в другой, вызывая таким образом тангенциальное напряжение или напряжение при сдвиге. Межмолекулярное сцепление преобладает в жидкостях и, поскольку сила сцепления уменьшается с повышением температуры, вязкость также уменьшается. Термочувствительность вязкости напрямую зависит от химического состава жидкости. Динамическая вязкость μ - это соотношение тангенциального напряжения к скорости деформации. Общепринятой единицей измерения вязкости является Паскаль x секунда (Па с) или сантипуаз (сп; 1 сп = мПа с). Кинематическая вязкость жидкости (ν) – это отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности, или ν = μ/ρ. Общепринятой единицей измерения кинематической вязкости является стоке (ст), но в подходящей выборке обычно используют центистоке (цст, 1/100 сток). Для упрощения в жидкостях с низкой вязкостью (ньютоновские) вязкость не зависит от скорости сдвига. А для жидкостей, не являющихся ньютоновскими(например, конформное покрытие), вязкость уменьшается с увеличением скорости сдвига; это явление известно как «разжижение при сдвиге». Коммерческие вискозиметры, описанные в параграфах 7.1.1 и 7.1.2 ниже, простые инструменты для измерения сопротивления текучести при неопределенной или неустановленной скорости сдвига. Данные измерения этими приборами напрямую зависят от условий испытания, их получают с результатами испытания. Не рекомендуется проводить сравнение с данными, полученными с помощью других вискозиметров.

Крайне важно следить за уровнем вязкости при нанесении конформного покрытия распылением с помощью автоматизированных механизмов. Покрытие, нанесенное слишком тонким слоем (низкая вязкость) может привести к перемещению вверх конформного покрытия между внешним диаметром электрических контактов и теоретическим корпусом сокетов и контактов, в результате чего покрытие смещается на внутреннюю часть сокетов электрических контактов.

6.1.1 Размеры шпинделя

При измерении вязкости по Брукфильду замеряют динамическую вязкость жидкости с помощью вращающегося диска или шпинделя Т-образной формы. Тип диска или шпинделя, скорость вращения, температуру образца записывают, когда получают данные измерительного прибора.

6.2 Вязкость, реология

Есть два основных способа определения пригодности покрытия для нанесения: проверка их вязкости или реологии. В исследовании реологии используют «стаканчики текучести» для определения кинематической вязкости по времени, которое затрачивается на протекание жидкости под действием силы тяжести через калиброванное отверстие (например, Форд, Зан и т.д.). Нецелесообразно проводить корреляцию вязкости и реологии изделия. Это два способа измерения, в корне различающихся между собой.

6.2.2 Значения стаканчика текучести

С помощью вискозиметров стаканчика текучести определяют кинематическую вязкость жидкости по времени, затрачиваемому на протекание жидкости под действием силы тяжести через калиброванное отверстие. Плотность пробного образца и температуру записывают, когда получают данные измерительного прибора.

Динамическая вязкость (сП) = Кинематическая вязкость (сСт) x Удельный вес жидкости.

Точность измерений стаканчиком текучести приблизительно ± 20%. Данные, получаемые с помощью данного прибора, зависят непосредственно от работы оператора. Чтобы снизить эту зависимость, была предложена методика, описанная ниже.

Опустите стаканчик текучести в жидкость. Одной рукой будете вынимать стаканчик, в другой руке держите секундомер. Начинайте отсчет, когда стаканчик пронзит поверхность жидкости. Быстро выньте стаканчик из жидкости. Когда текучесть жидкости будет непостоянная и неравномерная, остановите секундомер.

Существует большое количество стандартов измерений вязкости стаканчиком текучести. Более подробную информацию вы можете найти в приложении В.

6.3 Влияние температуры

В сущности, с повышением температуры понижается вязкость жидкости. Некоторые вещества более чувствительны по сравнению с остальными, но для проведения сравнения надлежащим образом температуру при измерении следует записывать. Общепринятым стандартом является температура 25^0C.

Для отдельного материала можно составить диаграмму температурной компенсации по графику изменения вязкости (любым способом) от температуры. Температура вязкости зависит от химического состава жидкости. Проконсультируйтесь со своим поставщиком материалов по поводу характеристик температуры вязкости.

6.4 Поверхностные свойства

Поверхностные свойства материала конформного покрытия играют важнейшую роль в свойствах смачивания поверхности, предназначенной для нанесения покрытия. Если поверхностное натяжение материала покрытия слишком высокое по отношению к поверхностному натяжению покрываемой поверхности, произойдет устранение способности смачиваться или эффект «апельсиновой корки». Поверхностное натяжение и поверхностная энергия изменяются в зависимости от состава материала; добавляется не только химический состав смолы, но и химические свойства и количество разбавителя. Таким образом, изменение вязкости или реологии повлияет на изменение характеристик смачивания поверхностного материала.

7 СОВМЕСТИМОСТЬ

7.1 Совместимость с рабочим материалом

При чтении следующего раздела важно понимать, что все покрытия впаиваются также как наружу. Для успешного нанесения конформного покрытия на ПП необходимо принять во внимание совместимость покрытия с различными материалами платы во время его нанесения и затвердевания. Это включает в себя совместимость с поверхностью платы или компонента, паяльными масками, общими загрязнителями, такими как остатки флюсов и такими химическими веществами, как пластификатор, пеногаситель, смазка.

7.1.1 Паяльные маски

Термины «резист припоя» и «паяльная маска» часто используются, когда речь идет о кроющем материале постоянного или временного полимерного резиста любого типа. Термин «резист припоя» используется в данном

документе в качестве основного, если речь идет о полимерных веществах долговременного покрытия любого типа применительно к ПП. Резист припоя предназначен для ограничения и контроля за нанесением припоя на выбранные участки ПП во время пайки компоновочного узла. Резист припоя также предназначен для контроля за загрязнением поверхности печатной платы во время нанесения припоя и при дальнейшей обработке поверхности. Более подробную информацию о нанесении резиста припоя и технических требований к материалу смотрите в IPC-SM-840.

Для производства высококачественных ПП важно учитывать совместимость паяльной пасты и основания с конформным покрытием. Большое количество соединений паяльной маски, основания и конформного покрытия делают использование детального списка в данном случае непрактичным. Конечный пользователь должен обсудить критерии совместимости конформного покрытия с поставщиком конформного покрытия. Квалификация данной системы, включающей паяльную маску, материалы покрытия и параметры процесса, должна быть закончена до начала применения этих материалов.

Материал резиста припоя не предназначен для использования в качестве заменителя конформного покрытия, которое наносят после сборки для покрытия компонентов, выводов компонентов/разъемов и коннекторов припоя. Определение совместимости материала резиста припоя с материалом конформного покрытия или другими веществами зависит от среды сборки готового изделия.

Типы резиста припоя включают:

- Наплавление, форма, полученная методом трафаретной печати.
- Наплавление, пленка с готовым отверстием.
- Фото изображение, форма резиста (жидкая).
- Фото изображение, форма резиста (сухая пленка).
- Фото изображение, временный резист.
- Фото изображение, сухая пленка поверх жидкости.

ВНИМАНИЕ: если требуется какая-то корректировка участков с резистом припоя, необходимо следить, чтобы материал сочетался и имел равное сопротивление, что и при пайке и очистке и сочетался с конформным покрытием, как первоначально нанесенный резист.

Определенные иетоды нанесения маски могут влиять на свойства адгезии. За более подробной информацией по адгезии обращайтесь к разделу 7.3. В зависимости от способа нанесения маски различается состав. Например, нанесение конкретного покрытия может потребовать пеногасителя, тогда как при нанесении через трафарет пеногаситель может не потребоваться.

7.1.2 Остатки флюса

Флюс используют при пайке для ускорения процесса намокания. Флюсы можно подразделить на три основных группы: канифольные флюсы с высоким содержанием твердой фазы (к примеру, с содержанием твердой фазы выше 15%); водорастворимые или ОА флюсы; неочищенные и флюсы с низким содержанием остатков. Более подробную информацию о флюсах вы можете найти в J0STD-004 и IPC-HDBK-001.

Флюсы оставляют остатки. В основном, канифоли с высоким содержанием твердой фазы и водорастворимые флюсы более агрессивные по своей природе и поэтому чаще подвержены процессам очистки по сравнению с конформными покрытиями. Очистку от остатков канифольных флюсов с высоким содержанием твердой фазы проводят с помощью растворителей, водных и полуводных растворов. Очистку водорастворимых и ОА флюсов чаще всего проводят, используя очищающие режимы на водной основе. Степень удаления этих часто коррозийных остатков может широко влиять на надежность производимой аппаратуры. Плохая очистка может привести к таким электрохимическим механизмам разрушения, как утечке тока, коррозии, миграции молекул металла или росту дендритов.

Адгезия конформных покрытий к поверхности аппаратуры может также зависеть от завершенности процесса очистки. При плохой очистке канифольных флюсов с высоким содержанием твердой фазы может остаться большое количество канифольных остатков, которые могут ухудшить адгезию, хотя большинство покрытий достаточно легко приклеиваются к канифоли. Водорастворимые флюсы могут содержать высокомолекулярные ПАВ (которые делают флюс растворимым в воде). Эти ПАВ, такие как полигликоли, обладают гидрофильными свойствами (способность связываться с молекулами воды) и могут негативно влиять на адгезию. Поэтому, в процессе очистки следует удалять как коррозийные ионы, так и неионные органические элементы. При нанесении избыточного количества неочищенного флюса может произойти снижении адгезии.

Флюсы с низким содержанием остатков не опасны по своей природе и предназначены для использования при сборке без очистки. По сути, остатки флюса остаются на аппаратуре, часто выступая в качестве переходного слоя между аппаратурой и конформным покрытием. Количество остатков флюса – это функция твердой фазы флюса (обычно 1-5% твердой фазы), динамики подогрева (накаленность свидетельствует об отсутствии остатков); и среды оплавления (воздушной или азотной).

Сцепление между конформным покрытием и слоем флюса с низким содержанием остатков может представлять некоторые проблемы. Некоторые остатки флюсов разработаны таким образом, чтобы оставаться мягкими при внутрисхемных испытаниях. Другие отвердевают в виде блестящего покрытия. Остатки флюсов, которые оставляют отвердевший блестящий слой, часто представляют проблемы для сцепления. Остатки флюса, образующие матовую поверхность, могут гораздо лучше связываться с конформным покрытием.

Информацию по способам оценивания степени очистки вы можете найти в 8.1.2 руководства, а требования по степени очистки в IPC-HDBK-001 и J-STD-001.

7.1.3 Средства для очистки

После процедур очистки и осушки после пайки на поверхности ПП, предназначенной для нанесения покрытия, могут остаться частицы загрязнителей и/или очищающего средства. Необходимо проверять совместимость с очищающими средствами, как с растворителями, так и о средствами на водной основе. Несовместимость очищающих средств может привести к слабому налипанию покрытия во время его нанесения, замедлению отвердевания, слабой адгезии отвердевшего покрытия или проблемам с долговечностью покрытия.

7.1.4 Пластификатор

Пластификатор – это вещество, добавляемое в пластмассы и/или эластомеры для увеличения их пластичности. Количество добавляемого пластификатора может варьироваться в зависимости от желаемых свойств, которые должно приобрести вещество. Пластификаторы представляют собой подвижные флюиды в объеме пластмасс, мигрирующие на поверхность. Наличие пластификаторов потенциально может привести к совместимости: отсутствие адгезии, замедление миграции в нежелательные участки ПП. Более подробно прочитать об ингибировании и адгезии вы можете в 8.2 и 8.3.

Пластификаторы могут также мигрировать на отвердевшую поверхность и приводить к образованию вздутий на поверхности, отрицательно влияя на качество покрытия.

7.1.5 Пеногаситель

Пеногаситель является добавкой, которую добавляют для предотвращения газообразования, образования пузырей и пенообразования при нанесении покрытия. Пеногасители иногда используют для паяльного резиста, нанесенного поливом, т.д.

7.1.6 Состав смазки

Смазки обычно используют в производстве пластмассовых компонентов. Смазки могут ингибировать адгезию или приводить к отвердеванию конформного покрытия. Это может быть рассмотрено как расслоение на поверхности компонента.

7.1.7 Маркирование

На многих компоновочных узлах монтажных плат имеется маркировка, используемая для распознавания компонентов, субблоков и служащая обозначением для размещения и ориентации компонентов. Примеры маркировки: маркировка чернилами, штамповка, чеканка, гравировка, трафаретная печать и т.д. По существу, маркировку вместе с остальными пометками ПП необходимо защищать покрытием от воздействия неблагоприятных условий среды. Таким образом, есть дополнительные требования относительно наносимых покрытий, которые не должны влиять на сохранность маркировки, чтобы сохранялась ее читаемость, особенно на протяжении срока эксплуатации. Примерами совместимости конформного покрытия с маркировкой могут служить обесцвечивание, адгезия, показатель преломления и четкость.

7.1.8. Временное маскирование

Всегда следует проверять на совместимость материалы маски и конформного покрытия. Материалы некоторых масок содержат вещества, несовместимые с материалом покрытия. Например, жидкая натуральная латексная маска содержит щелочь, которая замедляет процесс затвердевания определенных изделий с каталитическим конформным покрытием.

Временные маски обычно оставляют некоторые формы остатков. До начала использования важно знать, будут ли остатки оказывать негативное влияние

на процесс. Примером может служить остаток липкой ленты после процесса маскирования во время электроосаждения золота точек контакта на поверхности ПП.

Если вы хотите иметь стойкое покрытие высокого качества, крайне важно чтобы компоновочный узел ПП был очищен надлежащим образом.

Остатки, которые могут оказывать влияние на покрытие:

- Адгезивы.
- Следы отпечатков пальцев и частицы.
- Продукты человеческой жизнедеятельности – пот, кислоты и/или масла.
- Вещества смазки.
- Масла – от механизмов и/или людей.
- Другие вещества в зависимости от того, какой процесс используете вы сами или поставщик.
- Кремнийорганические соединения.
- Некоторые ПАВ.

Предполагается, что изделия предварительного производства проходят технологический процесс до утверждения реального производства.

Более подробную информацию по веществам маски и процессу маскирования вы можете найти в 8.3.

7.2 Ингибирование

Ингибирование означает, что материалы некоторых покрытий не могут приобрести заданные свойства за время и при температуре, которые были определены производителем. Действительно только для соединений без растворителя.

Ингибирование возникает в результате загрязнения катализатора в конформных покрытиях, отверждающихся при нагревании, следовым количеством химических веществ определенного типа. Эти вещества препятствуют отверждению и, следовательно, переходу веществ в желаемое

твердое состояние. Даже присутствие крайне малого количества ингибиторов может оказать существенное влияние на этот процесс.

Хотя, есть несколько примеров, когда реакция отверждения не может протекать обычным способом. Эти условия возникают, когда присутствуют так называемые вещества ингибиторы. В присутствии таких ингибиторов отверждение в местах непосредственной близости с ингибиторами ослаблено. В этих местах конформное покрытие остается в жидком состоянии, даже после полного завершения процедуры отверждения. Это вещество остается жидким, независимо от каких бы то ни было попыток перевести его в твердое состояние.

Покрытия, отверждение которых проходит под действием механизма свободных радикалов, подвержены реакции ингибирования. Примерами являются соединения покрытий, когда свободные радикалы образуются от УФ фотоинициаторов или органических перекисей. В присутствии атмосферного кислорода реакционно-активные радикалы вступают в реакцию с кислородом с образованием неактивных неподвижных алкильных перокси- радикалов. Наиболее характерной чертой ингибирования при участии кислорода является липкая поверхность или невулканизированный материал на поверхности после отверждения. Эта проблема обычно решается увеличением УФ интенсивности и/или температуры отверждения. При соответствующих условиях отверждения реакционные радикалы намного быстрее кислорода проникают в тонкий слой пленки, что в результате приводит к полному отверждению. И наоборот, отверждение в среде инертного газа снижает ингибирование с участием кислорода.

7.2.1 Типы реакций ингибирования

7.2.1.1 Межфазное ингибирование

Межфазное ингибирование встречается на интерфейсе между основанием и покрытием. Данный тип ингибирования сложнее всего обнаружить, но встречается он чаще в виде проблем с адгезией, чем несовместимости. Межфазное ингибирование можно нейтрализовать, проведя очистку поверхности основания, отверждение основания за счет испарения летучих соединений или нанося промежуточное покрытие, например, загрунтовать и сменить отверждающую композицию.

7.2.1.2 Мягкое ингибирование

Мягкое ингибирование наиболее часто встречается, когда процесс отверждения конформного покрытия занимает больше времени, чем было определено поставщиком в листе технических данных. В большинстве случаев ингибирование можно ослабить с помощью очистки поверхности основания, осушки основания испарением летучих соединений, нагрева, который ускоряет отверждение, нанесения промежуточного покрытия, например, грунтовки, или с помощью добавления катализатора реакции отверждения.

7.2.1.3 Грубое ингибирование

Грубое ингибирование встречается, когда участки ингибирования остаются в жидком состоянии даже после полного завершения процесса отверждения. Ослабить грубое ингибирование можно следующими способами: сменить основание или выбрать конформное покрытие бес примесей, например, конформное покрытие, отверждающееся при влажности.

7.2.2 Распознавание процессов ингибирования

Ингибирование иногда встречается на открытой поверхности, тогда как отверждение проходит в загрязненных печах. В этих случаях в атмосфере печи содержится значительное количество веществ отверждения или остатков катализотора от предыдущего изделия, которые вызывают ингибирование на поверхности конформного покрытия, отверждаемого при нагревании. Решением проблемы может служить нагревание печи до максимальной температуры в течение восьми часов для удаления летучих остатков или использование подходящей печи.

Остатки на поверхности ПП – другой потенциальный источник ингибирования. В большинстве случаев это не остатки материала, из которого сделано основание, служат причиной ингибирования. Чаще всего это остатки от других материалов ПП или остатки масел на поверхности основания, например, частицы смазки или лосьона для рук.

По отношению к конформным покрытиям, носимым на другие инструменты, подобные рассуждения не теряют своей актуальности. На таких устройствах, как воронки, распределительные трубки, шланги, герметики и прокладки иногда оседают и скапливаются остаточные вещества. До использования и нанесения конформного покрытия, отверждающегося при нагревании, необходимо производить тщательную очистку этих устройств .

7.2.3 Причины возникновения ингибирования

Самой распространенной причиной возникновения ингибирования является наличие серосодержащих химических соединений, аминов, азотсодержащих химических соединений, кислотных веществ (обычно органических кислот) и катализаторов оловоорганического клея-герметика силиконовой прокладки. Исключение по отношению к серосодержащим и азотсодержащим соединениям, которые ингибируют отверждение конформных покрытий при нагревании, составляют конкретные пластичные полиуретаны. Они обычно присутствуют в некоторых перчатках, резиновых напальчниках, масках, рукавах, трафаретах, конкретных флюсах, смазках, шлангах, прокладках, кольцах и других резиновых изделиях, креме для рук, неотверждаемой эпоксидной смоле и уретанах. Более полную информацию о соединениях, потенциально вызывающих ингибирование, вы можете найти в 7.2.4, Контрольный перечень совместимости.

Как указывалось ранее, органические кислоты являются ингибиторами. Побочным продуктом реакции перекисного катализатора во многих каучуковых смесях, вулканизирующихся при нагревании, является органическая кислота. Следовательно, если последующая вулканизация каучука будет проведена не достаточно тщательно, могут остаться остатки кислоты, которые вызовут ингибирование. Эта проблема крайне важна для кремнийорганических каучуков, вулканизация которых проходит под действием горячего воздуха, поскольку кислота, образующаяся при вулканизации, обладает гораздо меньшими свойствами летучести по сравнению с кислотными побочными продуктами реакции с другим кремнийорганическим каучуком. В результате, длительность протекания последующей вулканизации нуждается в кремнийорганическом каучуке, вулканизированным горячим воздухом.

7.2.4 Контрольный список совместимости

Материалы и компоненты, перечисленные ниже, были оценены по результатам отверждения при нагревании. Предполагается, что остальные конформные покрытия при нагревании проявляют аналогичные свойства. Прежде чем сделать окончательный выбор покрытия, пользователь должен проверить на совместимость сочетание покрытие/плата. Ниже дается примерный список веществ, которые могут являться потенциальными ингибиторами для материалов, отверждаемых при нагревании:

- Поливинилхлорид, пластифицированный.
- Эпоксидная смола, без аминов.

- Полисульфид MIL-S-8516.
- Целлофановая лента.
- Клейкая лента для маскирования.
- Виниловая электрическая лента.
- Латексная вакуумная труба.
- Кремнийорганический каучук, вулканизированный потоком горячего воздуха.
- Неопреновый каучук.
- Буна N каучук.
- GRS каучук.
- Природный каучук.
- Флюс припоя с кислотным центром.
- Флюс припоя с канифольным центром.
- Такие серные соединения, как: тиолы, сульфиды, сульфаты, сульфиты, тиосульфаты.
- Такие азотсодержащие соединения, как: амины, амиды, имиды, азиды.

7.3 Адгезия

На налипаемость конформного покрытия к поверхности ПП оказывают влияние несколько факторов. Это факторы включают в себя:

- Степень очищенности
- Совместимость покрытия с остальными поверхностными материалами.
- Степень отверждаемости.

Свойства налипания имеют важное значение для функционирования конечного изделия. Если конформное покрытие закреплено на поверхности платы недостаточно тщательно, его защитные свойства будут слабыми. Плохо нанесенное покрытие может привести к образованию вздутий, отслаиванию, образованию трещин, крошению конформного покрытия, особенно во время циклической термообработки и под воздействием

влажности/нагрева. Требования к адгезивным свойствам определяются соглашением между специалистом по нанесению покрытия и конечным пользователем. Они определяют приемлемый для функционирования ПП уровень адгезии, а также испытания, которые можно проводить с целью проверки адгезивных свойств при любых испытаниях и условиях окружающей среды. Плохие показатели адгезии зависят не только от силы сцепления материалов, но также от эластичности конформного покрытия. Покрытия с высокой эластичностью меньше предрасположены к нарушению прочности связи под воздействием механического натяжения по сравнению с низкоэластичными покрытиями.

Адгезию конформных покрытий можно проверить с помощью метода ASTM 3359. Для конкретных типов покрытий этот тест может быть неприменим.

7.3.1 Компоненты

Слабая адгезия и отсутствие способности смачиваться конформных покрытий к компонентам и проводке компонентов могут представлять проблему. Обычно это обусловлено наличием частиц смазки на основе силикона. В некоторых случаях эту проблему можно решить, изменив способ нанесения, при котором конформное покрытие будет легче проникать между выводами с мелким шагом. На поверхности некоторых компонентов могут находиться вещества, способные замедлять адгезию конформного покрытия, такие как вещества теплопередачи, воски, полисилоксаны (силиконы) и маркировальные чернила. Чистота компонентов также является важным фактором для адгезии конформного покрытия. Рассуждения на тему чистоты и ингибирования представлены в 8.3.4. и 8.2 соответственно.

Если возникают локализованные отслоения, пользователь вправе признать покрытие непригодным для использования.

7.3.2 Фактура поверхности

Один из участков компоновочного узла, на который наносится конформное покрытие, представляет собой фактуру поверхности ПП. Фактура поверхности – это материал на металлизированных участках внешней поверхности ПП. Прежнее поколение подобных участков на поверхности ПП содержало остаточную медь после травления и других процедур с ПП до оплавления оловом/свинцом. Результатом новейших технологий является использование альтернативных материалов по отношению к олову/свинцу, которые ранее использовались в качестве финишных поверхностных материалов ПП до обработки компоновочного узла. Эти материалы

содержат: оголенную медь, иммерсионное олово, иммерсионное серебро, иммерсионное золото, никель электролитических реакций в сочетании с золотом и/или палладием, органический консервант, пригодный к пайке и другие сплавы подобного вида. Если на участках ПП с паяным соединением содержатся данные материалы, при последующей обработке поверхности эти финишные материалы модифицируются. Наиболее частые из модификаций – традиционная обработка компоновочного узла, используя нивелирование эвтектического припоя потоком горячего воздуха или методы оплавления. Ввиду того, что фактура поверхности может содержать различные металлы или органические вещества до обработки компоновочного узла, в результате интерметаллическое паяное соединение может содержать микроэлементы финишной поверхности платы. Такого рода условия и остальные участки ПП с фактурой, не изменяемой обработкой компоновочного узла, необходимо учитывать при рассмотрении совместимости конформного покрытия. Во многих случаях данные условия могут потребовать проведения квалификационных испытаний с помощью репрезентативных образцов ПП до утверждения конформных покрытий пригодными для использования.

7.3.3 Чистота (степень очистки)

Конформные покрытия впаивают также как и наружные. Единственным наиболее распространенным фактором, замедляющим адгезию, является загрязнение поверхности. Наличие ионных остатков, маслянистых веществ и частиц на поверхности платы и компонентов может привести к коррозии, повреждению изоляции, ослаблению адгезии и последующему нарушению конформного покрытия. Ионное загрязнение может привести к крошению покрытия и образованию пузырей. Маслянистые вещества и частицы препятствуют налипанию большинства конформных покрытий на поверхность/основание, приводя к отслоению. Процедура тщательной очистки и сушки – наилучший способ, позволяющий свести к минимуму проблемы с налипанием, вызванные остатками. Даже при использовании флюсов с низким содержанием остатков и процессов, не предусматривающих процедуру очистки, очень важно, чтобы на компоновочных узлах не было остатков флюса. Незначительные следы остатков флюса на узлах вследствие плохо выполненной очистки и испарения веществ флюса может привести к ослаблению адгезии конформного покрытия. Еще одним фактором является процедура очистки. При использовании альтернативных методов очистки и химических веществ, таких как гидрокарбонаты, терпены, сложные эфиры, необходимо соблюдать меры предосторожности по отношению к растворителям остатков. Эти растворители могут привести к газовыделению

при повышенной температуре, что в результате приведет к возникновению проблем с адгезией, таких как образование вздутий и пузырей. При использовании методологии водной очистки важно тщательным образом провести осушку. Слабая адгезия конформных покрытий может быть обусловлена наличием некоторого количества воды на компоновочном узле. Методы оценивания степени очистки представлены в 8.1.

Информация по очистке при восстановлении и повторной обработке представлена в разделе 10.

7.4 Адгезия промежуточного слоя

Степень адгезии между слоями и степень налипания на предварительно нанесенный слой зависит от выбранного типа химических веществ и материала. Для некоторых веществ требуется полное отверждение до нанесения следующего слоя, поскольку во влажном состоянии они не обладают адгезивными свойствами. Использование поверхностной обработки между слоями при нанесении многослойного покрытия не является общей практикой; хотя в некоторых случаях прибегают к этому способу. А также пользователь всегда должен помнить о требованиях по толщине покрытия. Многократное нанесение некоторых материалов может привести к общему увеличению пленки, потому что может потребоваться большее количество материала для смачивания поверхности предварительно нанесенного слоя.

При восстановлении и повторной обработке, когда на старый слой наносится новое покрытие, степень смачивания и адгезии может изменяться в зависимости от относительного поверхностного натяжения, состояния (чистоты, износа) старого слоя и пригодности способа удаления покрытия (остатки средств зачистки, термически разрушенное покрытие, стертая поверхность и др.). Для усиления адгезии могут быть использованы активаторы адгезии и поверхностная обработка. Более подробно о восстановлении и повторной обработке написано в разделе 10. Определение процесса повторного нанесения покрытия следует рассматривать как часть процесса нанесения покрытия.

7.5 Методы оценивания совместимости

Существуют тысячи способов определения совместимости материалов или испытаний совместимости между любыми сочетаниями материалов и операционной среды. Оценивание становится более конкретизированным, если мы уделяем внимание только оцениванию возможности сочетания

рабочего оборудования и конформного покрытия для получения желаемых характеристик.

Для оценки качества покрытия необходимо ответить на четыре вопроса:

1. *Прочно ли держится покрытие на поверхности основания?*

2. *Ограничивает ли покрытие электрические характеристики оборудования?*

   Это может иметь отношение к времени выравнивания, задержке распространения, перекрестным помехам и др.

3. *Обеспечивает ли покрытие необходимую защиту оборудования в среде конечного использования?*

   В зависимости от среды конечного использования покрытие может быть предназначено для обеспечения механического, химического и/или гидроизолирующего барьера. Примеры сред конечного использования даны в разделе 11.

4. *Согласуются ли свойства температурного расширения покрытия с оборудованием?*

   В некоторых случаях при выборе конформного покрытия не учитывают соответствие покрытия температурным характеристикам среды конечного использования. Если покрытие слишком твердое, а основание претерпело температурное расширение или сжатие, могут возникнуть трещины и покрытие начнет крошиться. При чрезмерном расширении или сжатии покрытия, могут возникнуть повреждения паяного соединения или хрупких компонентов, таких как стеклянных диодов.

На вопросы 1 и 4 обычно можно ответить, проведя испытание покрытия в среде с изменяющимися температурными условиями, периодическом изменении температурно-влажностного режима. MIL-STD-202, Method 106, IPC Method 2.6.3.1 – примеры периодического изменения температурно-влажностного режима среды, чаще всего используемые для проверки адгезии покрытия к основанию. Если в среде конечного использования присутствуют вибрации, также необходимо проводить виброиспытания на проверку адгезии и температурного расширения. Такого рода испытания часто рассматривают как «вибрирование и сушка».

На вопрос 2 можно ответить, проведя полное испытание на функциональность оборудования до и после (иногда во время) испытаний на температуру влажность и вибрации. Если нет отказов электрооборудования в результате воздействия вышеуказанными факторами, вероятно, испытание на совместимость покрытия пройдено.

На вопрос 3 можно ответить различными способами. Большинство испытательных методов основано на простом воздействии указанных в вопросе условий на оборудование. Условия могут включать один или несколько из нижеперечисленных факторов:

- Озон.
- Смешенные потоки газов.
- Промышленные загрязняющие вещества.
- Соленый воздух.
- Предельные температуры.
- Влажность.

Если оборудование выдерживает воздействие этими факторами среды, сохраняя при этом целостность и свойства покрытия, электрические характеристики, без возникновения коррозии под покрытием, такое покрытие считается приемлемым.

При оценке характеристик всегда следует тщательно выбирать испытательное средство; тест-купоны, испытательные стенды, действующее оборудование и т.д.

Преимущества испытательных стендов

- Стенды легко доступны в исполнении многих металлов.
- Стандартные значения для определения пригодности даны в IPC-CC-830 Оценка и характеристика соединений электрической изоляции компоновочных узлов печатных плат (конформное покрытие).
- Простая обработка облегчает отсеивающие эксперименты.

Недостатки испытательных стендов

- Плоская поверхность не позволяет испытать покрытие (однородность) оборудования (изменяющаяся толщина).
- Плоская поверхность без сквозных отверстий не может аналогично действующему оборудованию воспроизвести динамику отверждения.
- Результаты виброиспытаний на стенде могут отличаться от реальных показателей конечного изделия.
- Спланированные эксперименты рекомендуется проводить на испытательных стендах, а окончательную проверку проводить на действующем оборудовании.

8 ОБРАБОТКА

В приложении С представлено руководство по быстрому поиску неисправностей при обработке конформных покрытий. Специальные инструкции по поиску неисправностей должны быть предоставлены производителем покрытий или специалистами по нанесению покрытий.

8.1 Чистота (степень очистки)

Как уже упоминалось в 7.3.4, после нетщательной очистки могут остаться нежелательные остатки на поверхности, предназначенной для нанесения покрытия.

8.1.1 Очистка

В зависимости от вида флюсов, используемых при пайке, очистку компоновочных узлов после пайки можно проводить с использованием различных систем. На рисунке 8-1 представлен широкий спектр очищающих растворов, которые можно использовать для любого вида флюсов.

Руководства по очищающим растворам представлены в следующих документах IPC:

IPC –SC-60 Справочник по очищающим с помощью растворителя после пайки

IPC-SA-61 Справочник по очистке полуводными растворами после пайки

IPC-AC-62 Справочник по очистке водными средствами после пайки

IPC-CH-65 Руководство по очистке печатных плат и компоновочных узлов

8.1.2 Способы оценивания степени очистки

Существует множество способов определения степени очистки и различные методы измерения присутствующих остатков на электронном оборудовании. Выбор метода зависит от того, какие остатки обнаруживают: ионные или неионные.

Для органического загрязнения можно пользоваться литературой IPC-TM-650, испытательные методы 2.3.38. Можно провести визуальный осмотр испытательной поверхности на предмет наличия органических загрязнителей, растворяющихся в ацетонитриле. Сложным методом является анализ диссоциированных частиц загрязнителя с помощью ИК или ИК преобразования Фурье спектроскопов, как указано в IPC-TM-650, испытательные методы 2.3.39.

Для оценки степени загрязнения остатками канифольных флюсов можно использовать IPC-TM-650, испытательные методы 2.3.27. Этот метод основан на использовании спектроскопа видимого УФ излучения для обнаружения канифольных остатков в экстрагирующем растворе. В основе более точного метода лежат свойства свечения органических материалов, это высокоэффективный метод жидкой хроматографии. С помощью данной технологии оценки степени очистки , как указано в IPC-TM-650 и испытательных методах 2.3.27.1, можно обнаружить специфичные органические частицы и их количество.

Для оценки степени загрязнения ионными остатками можно использовать IPC-TM-650, испытательные методы 2.3.25, испытательные методы 2.3.25.1. С помощью данных методов определяют наличие загрязнителей, ионизирующих поверхность, замеряя удельное сопротивление экстрактов селективной сольвентной очистки. Это наиболее распространенная технология оценивания степени очистки, которую можно использовать в качестве инструмента для управления технологическим процессом. Данный метод не предназначен для анализа типа ионного загрязнения. Если необходимо провести анализ и определение ионных остатков, можно использовать метод ионной хроматографии, такой как IPC-TM-650, испытательные методы 2.3.28.

С.22 Рисунок 8-1 Опции системы очистки А в зависимости от типа флюса

Для оценки степени очистки можно также использовать проверку поверхностной изоляции; она характеризует влияние остатков на некоторые электрические свойства основания. Существует множество протоколов испытаний, каждый из которых включает ускоренный износ ввиду температурного перепада, уровень влажности и применяемое напряжение. Примеры - IPC-TM-650, испытательные методы 2.6.3.

Для проведения анализа различных методов оценки степени очистки, перечисленных выше, касающихся ионного и неионного загрязнения, обращайтесь к IPC-HDBK-001.

Каждый из этих испытательных методов позволяет определить количество присутствующих остатков, но часто остается проблемой определение допустимого количества частиц остатков, не вызывающих отрицательные последствия. Рассматривая разнообразие конфигураций электронного оборудования, невозможно выбрать единственный критерий степени очистки или единую технологию оценки степени очистки, которые подходили бы для всех конфигураций. IPC, в своих технических характеристиках компоновочных узлов и соединений, считают, что ответственность за выбор для их оборудования лежит на сборщиках или производителях комплексного оборудования.

8.1.3 Производственная среда

Предполагается, что в производственной среде нанесения покрытий осуществляется контроль над температурой и уровнем влажности. Проблемы могут возникнуть, если во время нанесения покрытия относительная влажность будет превышать 60%. Данный фактор не будет являться препятствием, если покрытие отверждается во влажной среде или само покрытие на водной основе. Во время отверждения покрытия пользователю должны быть известны от производителя рекомендуемые условия отверждения. Несоблюдение данных условий может привести к изменению свойств покрытия, и покрытие может оказаться непригодным для применения в среде конечного использования.

8.2 Подготовка основания

До нанесения конформного покрытия существенную роль играет подготовка компоновочного узла для лучшего намокания, адгезии и последующей надежности узла. Ключевую роль в достижении наилучших результатов при нанесении любого конформного покрытия, каким бы то ни было способом играют степень загрязнения остатками после пайки, тип остатков, наличие ионных остатков и частиц смазки компонента. Паяльная маска также оказывает существенное влияние на свойства адгезии конкретного материала конформного покрытия.

С тех пор, как стали использовать флюсы с низким содержанием примесей (также известные как флюсы, не требующие очистки), очистка компоновочных узлов до нанесения конформного покрытия стала не обязательной процедурой, но иногда все же необходимой. Количество видимых и невидимых остатков варьирует в зависимости от типа компоновочного узла, физической массы компонента, заметности сдвига припоя. Рекомендуется проводить измерения видов коррозии и ионов и периодически подтверждать базовые линии в соответствии с ранее описанными ограничениями по ПП. Большинство флюсов после проверки экстракцией растворителем на наличие NaCl могут обратиться в «белые», как результат наличия спиртов при осушке испытательного раствора и преобразования чистых/невидимых остатков в белый порошок. По эстетическим соображениям многие компоновочные узлы вообще не испытывают. В большинстве случаев адгезия конформных покрытий с такими остатками очень хорошая. Для снижения потенциального риска отслоений материала покрытия после отверждения в местах паяных соединений во время эксплуатации компоновочного узла следует учитывать, насколько прочно остатки удерживаются на поверхности паяного соединения. Выделено большое количество остатков в виде белого порошка. При обнаружении таких остатков важно провести их анализ и установить, какую они представляют опасность для надежности покрытия.

При обработке водорастворимых флюсов требуется промывка водой, что обычно благотворно для конформного покрытия, поскольку компоновочный узел очищается от многих остатков. Единственным существенным моментом, на который следует обратить внимание, является тот факт, что компоновочный узел должен быть полностью сухим перед процедурой нанесения конформного покрытия.

Во многих странах было запрещено использовать технологию обезжиривания в парах растворителя из соображений вредного воздействия

на окружающую среду. Тем не менее, следует проверять степень очистки компоновочных узлов для обеспечения хороших свойств и надежности материала конформного покрытия. Следует проверять совместимость покрытия с этими остатками.

8.2.1 Грунтовка

Для обеспечения хорошей адгезии и высокой надежности основание обычно очищают перед нанесением покрытия. После очистки иногда используют технологию грунтовки или активации адгезии для дальнейшего улучшения свойств адгезии.

8.2.1.1 Грунтовка силиконов

Для оптимизации адгезивных свойств силиконовых покрытий может потребоваться грунтовка. Оптимальной адгезии обычно добиваются, когда покрытие наносят очень тонким равномерным слоем.

При необходимости нанесения грунтовочного покрытия рассматривают три основных этапа этого процесса:

1. Подготовка поверхности – получение очищенной, сухой и в некоторых случаях реакционной поверхности.

2. Нанесение грунтовочного покрытия – нанесение покрытия очень тонким однородным слоем.

3. Отверждение грунтовочного покрытия – получение поверхности, идеальной для сцепления с силиконовым покрытием.

Оптимальной адгезии добиваются, когда во время нанесения грунтовочного покрытия большая часть реакционной поверхности окажется доступной. Органические и водорастворимые загрязнители, а также свободные частицы могут уменьшить область эффективной поверхности, предназначенной для сцепления. Хорошей адгезии можно добиться только тогда, когда поверхность основания является достаточно сильной для удержания наносимого покрытия.

Для достижения оптимальной адгезии на поверхность, предназначенную для нанесения конформного покрытия, следует равномерным слоем нанести грунтовочное покрытие. На некоторых поверхностях грунтовочное покрытие может образовывать наплывы. Плохо вымоченная поверхность может

привести к локализованной адгезии на отдельных участках. Если во время грунтовки образовались наплывы, то к грунтовке можно добавить растворитель или другие добавки для улучшения растекаемости покрытия. При выборе добавок можете проконсультироваться с поставщиками грунтовочного покрытия.

Это наиболее общее недоразумение, которое может привести к возникновению серьезных проблем при нанесении грунтовочного покрытия; приблизительно во всех случаях «больше» определенно не означает лучше. Недостаточное количество более предпочтительно. Грунтовочное покрытие с наилучшими характеристиками можно получить, добившись толщины отвердевшего грунтовочного покрытия 0.1μm - 10μm, с оптимальной адгезией в пределах 1 μm. Часто наилучшим способом является нанесение грунтовочного покрытия тонким равномерным слоем и немедленное отжатие излишков покрытия. Во время нанесения грунтовочного покрытия методом погружения или распыления для получения желаемой толщины рекомендуется использовать растворитель. Об излишнем количестве грунтовки может свидетельствовать не только слабая адгезия, но и белый известковый налет или хлопья на отвержденной поверхности загрунтованного покрытия. Остатки материала следует счистить, тем не менее, вероятно снижение адгезивных свойств.

Показатели максимальной адгезии напрямую зависят от степени отверждения активных частиц грунтовочного покрытия. Грунтовочные покрытия, содержащие кремнийорганический аппрет, начинают взаимодействовать с атмосферной влагой, поскольку носитель растворителя выпаривается. Идеальная адгезия протекает в интервале, когда происходит отверждение грунтовочного покрытия, для каждой системы адгезии этот интервал уникален, например, для данной поверхности, грунтовочного и силиконового конформных покрытий. Для данного грунтовочного покрытия выбор силиконового покрытия обычно оказывает гораздо большее влияние на оптимальную протяженность интервала отверждения по сравнению с выбором материала поверхности (рисунок 8-2).

С. 23 Рисунок 8-2 Интервалы отверждения грунтовочного покрытия

Протяженность интервала отверждения грунтовочного покрытия контролируется тремя основными условиями отверждения: температурой,

относительной влажностью и временем (рисунок 8-3). В большинстве случаев температура отверждения грунтовки изменяется незначительно или не поддается контролю, чаще всего из-за относительной влажности. Более внимательно можно отследить количество времени, которое необходимо для отверждения. Для наибольшего усиления показателя адгезии рекомендуется оценивать влияние времени отверждения на адгезию. Этого можно добиться, проводя отверждение грунтовки при обычных или нормальных условиях нанесения покрытий за 15, 30, 60, 120 и 240 минут, а затем продолжая оставшуюся нормальную процедуру сцепления. В качестве альтернативы грунтовочное покрытие может отверждаться за 15 минут при 22^{0}C, 38^{0}C, 52^{0}C и 66^{0}C, если в норме процесс отверждения грунтовки протекает при повышенных температурах. Часто атмосфера печей может быть достаточно сухой. Это может замедлить скорость отверждения до тех пор, пока не будет восстановлен адекватный уровень относительной влажности.

С. 24 Рисунок 8-3 Условия, влияющие на протяженность интервала отверждения грунтовочного покрытия.

С. 24 Рисунок 8-4 Влияние температуры и влажности

Предложения по увеличению уровня относительной влажности в зоне отверждения грунтовочного покрытия включают использование промышленных увлажнителей, открытых поддонов с водой (с большой площадью поверхности воды) в печах и образователей тумана. Если до нанесения грунтовочного покрытия не удалить воду, она будет конденсироваться прямо на поверхности грунтовки.

Оптимальное время отверждения, указанное выше при описании процедуры отверждения в печи, зависит от изменения температуры и относительной влажности (рисунок 8-4). Существуют два «практических правила»:

1. Время отверждения можно сократить на 50% повышением температуры отверждения на 11^{0}C, при этом аналогично будет изменяться уровень относительной влажности (в действительности, повышение температуры на 10^{0}C соответствует увеличению скорости большинства реакций в два раза).

2. При возрастании уровня относительной влажности в 0.5 раза время отверждения должно быть увеличено примерно в два раза.

Нет точного метода различения систем адгезии на чувствительные и нечувствительные к этим условиям. Тем не менее, для пользователя рекомендуется определять время отверждения грунтовки при условиях, приближенных к средней и максимальной температурам и относительной влажности, которые могут быть заданы в данном случае.

8.2.1.2 Грунтовка для акриловых покрытий

Не известны случаи использования грунтовки для покрытий данного типа.

8.2.1.3 Грунтовка для уретановых покрытий

Не известны случаи использования грунтовки для покрытий данного типа.

8.2.1.4 Активизация грунтовки/адгезии для полипараксилеленов (париленов)

Процесс вакуумного напыления полипараксилеленового (париленового) покрытия на поверхность ПП обычно требует активизации адгезии перед нанесением полимера. Этот процесс можно осуществить двумя способами: осаждением из газовой фазы или погружением в жидкость. Наиболее распространенным активизатором адгезии является А-174, органо-силановый эфир.

Процессы газовой фазы заключаются в размещении очищенных деталей в камеру для осаждения, где происходит напыление органо-силановых соединений непосредственно перед началом процесса нанесения покрытия. Аппаратура для нанесения покрытия должна быть сконфигурирована специальным образом для наличия возможности активизировать адгезию в самой камере.

Процесс погружения заключается в окунании связующего агента органо-силанового эфира в раствор IPA на 15-30 минут, после чего деталь проходит осушку. После этого деталь промывают свежим раствором IPA и опять обсушивают. Все эти процедуры проводят до маскирования, офлюсования и напыления.

8.2.2 Плазменная обработка

Плазменная обработка заключается в помещении компоновочного узла в вакуумную камеру для микропротравливания всех доступных поверхностей с помощью газовой плазмы. Скорость травления можно варьировать, выбирая различные газы. Этот процесс используется в качестве очистки и/или обдирки поверхности. Во избежание нежелательного удаления и

обесцвечивания некоторые участки компоновочного узла следует замаскировать. Можно также использовать выборочную плазменную обработку. Но этот процесс не всегда приемлем.

8.2.3 Механическое травление

Механическое травление подразумевает бомбардировку поверхности компоновочного узла твердыми частицами (например, песком или керамическими осколками) для придания поверхности шероховатости. Во избежание повреждений ввиду характера процесса некоторые участки компоновочного узла следует защищать маской. Этот процесс не всегда приемлем. Этот процесс также известен как микроабразивное травление/устранение. Пользователи предупреждены о том, что существенные повреждения ЭСР могут привести ESDS чувствительные элементы к тому, что используемый механизм не имеет встроенных контроллеров ЭСР или, другими словами, к сбою контроллеров или падению влажности ниже 30%. Рекомендуется, чтобы напряжение, генерируемое на насадке, распределяющей мощность, проверялось в соответствии с допустимым диапазоном каждый раз при ежедневном использовании специального механизма.

8.3 Маскирование

Можно сказать, что при любом способе нанесения покрытия может потребоваться нанесение определенного количества маски на некоторые участки компоновочного узла. Маски могут включать пластиковые защитные колпачки или крышечки, легкоотслаивающийся трафарет или липкую ленту для маскирования для некоторых обозначений. Большинство масок наносятся вручную оператором, хотя жидкие маски можно наносить с помощью специальных автоматизированных роботов. После нанесения маски могут остаться некоторые формы остатков. До начала маскирования важно определить возможное негативное воздействие остатков маски на процесс.

Используя маски в защитных целях при распылении, часто важно прибегать к экранированию, которое поможет съекономить время при нанесении маски и ее удалении. Если покрытие наносят методом погружения, маски следует герметизировать. Когда используют маску при вакуумном напылении покрытия, например, покрытия типа XY, маски должны быть воздухонепроницаемыми и сохраняться в вакуумной среде.

Имейте в виду, что через заднюю часть коннекторов и переходных отверстий может произойти утечка покрытия. Конформные покрытия разработаны таким образом, чтобы они могли проникать под компоненты и заполнять трещины в маске. Часто совместное использование изоленты и жидкой маски может быть очень эффективным способом изоляции от проникновения покрытия в нежелательные участки. С помощью изоленты создайте контур и заполните его жидкой маской.

Используя жидкие маски, соблюдайте меры предосторожности. Жидкие маски могут проходить через переходные и другие отверстия. Жидкие маски используют часто, но перед нанесением покрытия необходимо, чтобы они полностью высыхали. Пользователи осведомлены, что с жидкими масками, которые отвердевают и становятся каучукоподобными, могут возникнуть проблемы в том плане, что они полностью не удаляются с электрических контактов коннекторов, гнезд и других аналогичных электрических интерфейсов.

Требования по чертежам с указанием участков для нанесения маски указаны в 5.7. Всегда следует проверять на совместимость материалы маски и конформного покрытия.

8.3.1 Типы масок

8.3.1.1 Жидкие маски из натурального латекса

Маски данного типа представляют собой раствор натурального каучука в воде, стабилизированный щелочным компонентом (аммонием чаще всего). Важно убедиться, что маска наносится достаточно тонким слоем и продолжительное время не остается в жидком состоянии на поверхности платы, поскольку щелочность может оказать разрушающее воздействие на конкретные основания (например, медные). Толщина обычно составляет менее 2-3 мм.

Щелочной компонент маски может также замедлить отверждение продукции конкретных каталитических конформных покрытий, поэтому проверка правильности выбранной маски для материала покрытия играет существенную роль.

Нагрев маски может увеличить скорость отверждения, но следует избегать нагрева выше 70 – 80^{0}C, поскольку может начаться разрушение латекса, что в результате приведет к эффекту, похожему на «жевательную резинку». По этой причине удаление маски с изделия может быть затруднительным.

8.3.1.2 Жидкие маски из синтетического латекса

Маски данного типа представляют собой водный раствор синтетического полимера. Часто используются, если маски на натуральной основе замедляют процесс отверждения. Обычно, самосвязывающая сила и простота в использовании не совместимы с натуральной продукцией, но они не являются такими обязательными, как щелочные, и могут быть менее пахучими. Нагревание также может ускорить отверждение, хотя слишком ранний чрезмерный нагрев может привести к образованию пузырей в маске. Если используется покрытие на базе растворителя, растворитель может вступить в реакцию с материалами маски, и маска может полностью не удалиться.

8.3.1.3 Другие типы жидких масок

Доступны другие типы масок, отверждающиеся при нагревании и водорастворимые маски. Для маскирования покрытия не рекомендуется использовать водорастворимые маски, поскольку они больше подходят для использования при пайке. Преимуществом таких масок может быть время обработки. В качестве маски могут использоваться акриловые волокна, которые поддаются удалению и вулканизируются при УФ излучении.

8.3.1.4 Изоляционные ленты

Изоляционные ленты, выбираемые в качестве маскировки, должны быть непористыми по отношению к материалу покрытия и не должны производить излишнее статическое напряжение при использовании. Не рекомендуется использовать статические липкие ленты при наличии компонентов, чувствительных к ЭСР. В идеале использование лент с цветным или контрастным зарядом на контакте с основанием позволяет обнаружить трещины в местах наложения маски до нанесения покрытия на плату (рисунок 8-5). Следует применять адгезивы без силикона. После некоторых лент на поверхности компоновочного узла могут оставаться липкие остатки, которые очень сложно удалить полностью. Ленты также должны выдерживать температуру отверждения покрытия при использовании.

8.3.1.5 Защитные колпачки, чехлы, разъемы и т.д.

Некоторые приборы, находящиеся на поверхности компоновочного узла следует защищать от конформного покрытия. К этим приборам относят: электрические соединители, контрольные точки, «земляной» слой и некоторая упомянутая аппаратура. Обычно используют защитные чехлы и

поливиниловые колпачки (рисунок 8-6). Преимущество защитных колпачков, чехлов и разъемов состоит в возможности их повторного использования.

8.3.2 Руководство относительно автоматического маскирования

Методы маскирования, указанные в руководстве, обычно позволяют пользователю использовать любые необходимые способы защиты соединения или участка компоновочного узла, не предназначенного для нанесения покрытия. Они включают в себя: опресованные колпачки, чехлы, ленты, разъемы, ленточные точки, латекс, акриловые волокна, отвердевающие при УФ излучении, поддающиеся удалению, и любые другие эффективные средства.

С. 26 Рисунок 8-5 Изоляционные ленты

С.26 Рисунок 8-6 Защитные чехлы, используемые при маскировании

Важным моментом является предотвращение подтечки покрытия при нанесении и легкость удаления после отверждения. Все средства, используемые в качестве масок, должны полностью удаляться и не должны наносить отрицательного воздействия компоновочному узлу ПП.

Традиционные методы нанесения и удаления масок включают автоматизированную циклическую деятельность, производимую человеком вручную. Обычно это очень трудоемкая работа, зависящая от конструкции схемы расположения и сложности конструкции отдельной платы. Иногда процессы нанесения и удаления маски являются более дорогостоящими по сравнению с процедурой нанесения покрытия.

Автоматизированное маскирование может включать: распределитель давления/времени или тщательно разработанные платформы XYZ для выборочного нанесения защитных средств на узел. После наложения средств маскирования необходимо дождаться их отверждения. Чаще всего отверждение происходит при нагревании, в атмосферном воздухе или под действием УФ излучения.

8.3.3 Удаление маски

При удалении маски следует соблюдать меры предосторожности во избежание повреждений самого покрытия, компоновочного узла или платы.

Повреждения включают отделение материала от основания, расслаивание, образование трещин, загибание краев, физические повреждения основания и/или компонентов. Предотвратить разрушение покрытия поможет осторожное задирание.

8.4 Рекомендуемое покрытие

8.4.1 Рекомендуемая толщина

Внимание: IPC-CC-830 используется для квалификации, сохранения квалификации и контроля качества материала конформного покрытия. Требования по толщине конформных покрытий, наносимых на тест-купоны описаны в IPC-CC-830. Фактические требования по толщине конформных покрытий, наносимых на изделия компоновочного узла производимых печатных плат, даны в J-STD-001 или IPC-2221.

Запрашивается минимальная толщина покрытия для обеспечения требуемой функциональности покрытия. Эта толщина зависит от способа нанесения и требований к характеристикам конечной продукции, а также от типа покрытия. Неподходящая толщина может привести к точечным дефектам, снижению износоустойчивости и т.д.

Типичная толщина покрытий конечных изделий лежит в диапазоне 0.01 – 0.2 мм. Не доказано, что толщина в 0.2 мм вдвое больше обеспечивает защиту по сравнению с покрытием толщиной 0.01 мм. Конформное покрытие, наложенное слишком тонким слоем, может оказать такое отрицательное воздействие, как несоответствие коэффициентов теплового расширения, образование трещин и т.д., поэтому допустимая толщина покрытия имеет максимальное значение. Химические вещества на базе растворителей могут испаряться, что в конечном итоге повлияет на толщину покрытия. Например, покрытие, на 50% состоящее из растворителя, наносится пленкой толщиной 0.2 мм, а при отверждении толщина пленка будет приблизительно 0.1 мм.

Сложно добиться однородной толщины большинства конформных покрытий по всей поверхности компоновочного узла, за исключением полипараксилеленовых (париленовых) покрытий, нанесенных в вакууме. По этой причине средняя толщина покрытий других типов увеличена для обеспечения определенной толщины там, где покрытие особенно тонко, например, на местах паяных соединений и на выводах компонентов.

Поскольку толщину покрытия обычно измеряют на плоской, свободной, отвержденной поверхности компоновочного узла или на тест-купонах при

квалификации, удовлетворение требованиям по толщине еще не говорит о надежности покрытия. По этой причине следует проверять надежность конечного изделия с покрытием с помощью статического управления технологическим процессом вместе с основными принципами проектирования надежных систем.

8.4.2 Неравномерная толщина покрытия

Неравномерная толщина покрытия, помимо ослабления самого покрытия, может привести к увеличению риска образования трещин или отслоений. Обычно более твердые покрытия больше подвержены проблемам трещин и отслоений, в особенности это касается изделий, которые могут испытывать колебания высоких и низких температур.

На неравномерность толщины покрытий влияют некоторые силы. Наиболее распространенными из них являются силы: тяжести, поверхностного натяжения, капиллярные. Другими факторами, обуславливающими неравномерную толщину покрытий, являются: свойства веществ жидких покрытий, способы нанесения, время фиксации покрытия сразу после нанесения.

8.4.2.1 Гравитация

Под воздействием гравитации на вертикальной поверхности покрытие стекает вниз. Этот эффект не всегда является отрицательным. Его можно использовать, если необходимо, чтобы покрытие натекло к краям выводов компонентов, установленных в отверстие, которые в противном случае будут иметь очень слабое покрытие из-за поверхностного натяжения материала покрытия.

8.4.2.2 Поверхностное натяжение

Действие поверхностного натяжения направлено на сокращение зоны покрытия. Это достигается благодаря формированию выпуклой поверхности подобно тому, как припой формирует выпуклую поверхность на горизонтальной печатной плате под потоком горячего воздуха. Таким образом, в точках выпуклости и по краям покрытие может быть очень тонким, так же как по краям выводов монтируемых на поверхность компонентов.

8.4.2.3 Капиллярные силы

При нанесении покрытия методом распыления материал покрытия может оказаться под корпусом под действием капиллярных сил при наличии небольшого зазора. Это может привести к тому, что по периферии компонента покрытие окажется очень тонким. Так, в местах расположения компонентов с выводами по периферии, где наиболее важно иметь покрытие достаточной толщины, оно окажется тонким. Поверхностное натяжение и капиллярные силы могут также привести к формированию сопряжений и перемыканий между выводами, что в итоге окажет отрицательное воздействие на гибкость выводов.

8.4.2.4 Время фиксации

Время фиксации покрытия после нанесения – важный фактор определения, насколько оно будет мигрировать. Фиксация покрытий может происходить очень быстро при использовании материалов, отвердевающих под воздействием УФ излучения. Снижение вязкости обычно выражается в более равномерном распределении покрытия по поверхности. В отличие от отверждения под УФ, снижение вязкости во время отверждения при нагревании, в особенности для многих силиконовых покрытий, может привести к большому наплыву материала покрытия.

8.4.3 Покрытие на выступах и краях

Самым сильным препятствием на пути успешного распределения покрытия по краям и точкам является гравитация. При однократном наложении не удается закрепить покрытие на выступах и краях компоновочного узла. Это может привести к тому, что ключевые контактные точки окажутся без покрытия в процессе его нанесения.

Доступны несколько способов предотвращения этой потенциальной проблемы:

- На поверхность компоновочного узла можно нанести второй более плотный слой покрытия.
- Непосредственно после нанесения покрытия можно перевернуть компоновочный узел, позволив покрытию под действием гравитации растечься по всей поверхности штырьков выводов.
- Для предотвращения утечки материала покрытия с необходимых участков можно нанести второй более вязкий слой на критические точки и края.

- Непосредственно перед распылением покрытия на базе растворителя можно нагреть компоновочный узел. В этом случае растворитель будет легче испаряться с поверхности узла, позволив материалу покрытия более равномерно распределиться на выступах и краях.
- Можно использовать технологию нанесения покрытия окунанием, так покрытие на выступах будет нанесено более равномерно, поскольку узел покрывают в перевернутом положении.

8.4.4 Методы нанесения покрытий

Как минимум 0.025 мм покрытия может быть нанесено автоматизированным или выборочным методом, в то время как за один подход можно охватить большую поверхность, вплоть до 0.20 мм. Можно также использовать различные способы нанесения покрытий разной толщины вручную (с помощью кистей, ручных распылителей, аэрозолей), при этом следует использовать растворители со сложной структурой. Часть консистенций по истечении времени будет очень сложно использовать в операциях, производимых вручную. При нанесении покрытия методом окунания толщина покрытия может получиться больше по сравнению с другими способами и в большей степени это зависит от скорости погружения и извлечения, вязкости самого материала покрытия и содержания твердой фазы. Основное практическое правило заключается в следующем: чем быстрее вынимать изделие, тем тоньше получится покрытие.

При нанесении покрытия методом распыления поверхность компонентов, оказавшихся в затенении, может остаться без покрытия. Поэтому любые схемы, оказавшиеся под компонентами, оказываются плохо защищенными. Когда используется матричный корпус, распыление покрытия может оказаться неприемлемым методом. Используя выборочные покрытия, на основные рабочие позиции можно добавлять материалы экстра покрытий. А также можно наносить второй слой покрытия. В этом случае первый слой на выступах и краях должен быть разглажен.

8.5 Затенение/перемыкание

Перемыкание конформного покрытия вокруг выводов компонента производит эффект инкапсуляции. Пользователь должен определить, насколько желателен подобный эффект в соответствии с необходимостью доработки.

8.5.1 Анализ доступности

Прежде всего, следует учесть, насколько доступны эти участки компоновочного узла с зоной затемнения/перемыкания. Если эти контактные точки являются труднодоступными, возможно, потребуется больший объем покрытия для проникновения в необходимую зону охвата. И наоборот, в зоне с возможным перемыканием вокруг критических участков может использоваться покрытие с более высокой вязкостью. Более вязкие жидкости обеспечивают более правильное размещение, а также снижают текучесть под компонентами.

8.5.2 Рассмотрение процесса отверждения

При наличии затенения/перемыканий следует рассматривать условия отверждения. В особенности, когда начало отверждения покрытия зависит от воздействия УФ излучения. Как правило, этого излучения бывает недостаточно, поэтому следует использовать дополнительные механизмы отверждения. В противном случае неотвердевшее покрытие представлено компонентами, располагающимися под платой.

8.5.3 Технология затенения

В зоне затенения конформное покрытие лучше наносится с помощью распыления, угол распыляющей головки или насадки лучше фокусировать на материале под зоной затенения. Этот способ наиболее эффективен, когда зона затенения покрыта компонентами высотой более 3.175 мм или высота которых превышает поверхность платы. В этом случае распыление атмосферного воздуха способствует перемещению покрытия в зону затенения. Для низлежащих компонентов или операций вручную вы можете выбрать направление движения покрытия для лучшего охвата зоны затенения.

При нанесении покрытия методом погружения участки под компонентами становятся доступными. В зависимости от высоты зазоров может потребоваться регулировка вязкости и времени выдержки в растворе покрытия, чтобы позволить всему воздуху выйти из нижней части компонента. Покрытие, нанесенное в вакууме, способно проникать в более мелкие трещины по сравнению с жидким покрытием, в частности, снижается доля затененных участков.

8.5.4 Технология перемыканий

Создание перемыканий или покрытий под компонентами начинается при первом же распылении покрытия на весь компонент. Покрытие, наносимое на одну, две или три стороны выводов, напоминает частичное нанесение покрытия. В нижней части компонента могут образоваться пузыри при нанесении потока покрытия на все четыре стороны компонента. После успешного нанесения покрытия на три стороны, за короткий промежуток времени материал покрытия под компонентом может начать ослабевать.

8.6 Выбор вязкости

8.6.1 Способы выбора вязкости

Жидкие покрытия можно разделить на две категории: на базе растворителя и без растворителя. Для покрытий первой группы требуется растворитель для получения необходимого уровня вязкости при нанесении. Для покрытий второй группы растворитель может не понадобиться; необходимого уровня вязкости можно добиться другими способами, следует лишь проконсультироваться с поставщиком.

Производитель покрытия должен быть компетентен в вопросах о количестве и типах растворителя, применяемого при нанесении покрытия различными способами. Производителя оборудования также следует проконсультировать, поскольку могут быть небольшие расхождения коэффициентов разбавления для разного оборудования.

8.6.2 Цели выбора вязкости

При нанесении покрытия распылением может потребоваться растворитель для ослабления образования нитей (для акриловых покрытий) или пузырей при сушке покрытия (обычно для уретановых и силиконовых покрытий). В покрытия также могут добавлять растворитель для получения более тонкой сухой пленки.

Контроль над уровнем вязкости крайне важен при использовании автоматизированных механизмов распыления покрытия. Очень тонкое покрытие (с низким уровнем вязкости) может привести к миграции конформного покрытия между внешним диаметром электрических контактов и профильной частью гнезда и коннекторов, что в итоге приведет к смещению покрытия на внутреннюю часть гнезд электрического контакта.

При слишком быстром отверждении/испарении растворителя наблюдается ускоренное образование нитей. Существуют настройки оборудования для замедления таких явлений. Тем не менее, в зависимости от жесткости может

потребоваться добавление дополнительного количества растворителя. В этом случае снизится содержание твердой фазы, и может возникнуть необходимость нанесения дополнительного слоя покрытия для получения желаемой толщины.

После отверждения покрытия детали в сухой пленке могут образоваться пузырьки. Возможны следующие решения: добавление растворителя, уменьшение толщины сырой пленки, снижение температуры в камере, снижение воздействия влажностью (отверждение некоторых уретановых и силиконовых покрытий происходит во влажной среде).

При нанесении покрытия методом погружения толщина покрытия регулируется скоростью извлечения компонента из раствора и уровнем вязкости. Можно отрегулировать вязкость покрытия для получения покрытия желаемой толщины при заданной скорости/скорости извлечения.

При нанесении покрытия с помощью щетки, большая вязкость материала покрытия способствует ее лучшему распределению и получению более тонкого слоя.

8.7 Способы нанесения покрытия

Существует различное множество удачных способов нанесения конформных покрытий. В задачу данного руководства входит описание самых распространенных и удачных технологий: распыления, погружения, напыления щеткой, выборочного покрытия и вакуумного напыления. Каждый из перечисленных методов имеет свои преимущества и недостатки, а также комментарии по поводу разбавления покрытия, использования материалов, затенения и многослойности. При выборе конформного покрытия необходимо продумать способ его нанесения. Это позволит избежать несогласованности данных о надежности между условиями испытания и производственными условиями.

8.7.1 Распыление вручную

Распыление вручную чаще всего используют, когда необходимо нанести покрытие на небольшое число деталей. При распылении могут быть использованы баллончики с аэрозолем или ручные пульверизаторы. Эта процедура в большой степени зависит от оператора. Качество, зона охвата, консистенция и равномерность распределения покрытия по поверхности компоновочного узла напрямую зависят от работы оператора. Для проверки

зоны охвата обычно используется осмотр невидимым светом. Для небольших поправок можно использовать щетки.

8.7.1.1 Аэрозольное распыление

Поскольку содержание твердой фазы в аэрозолях достаточно низкое (менее 5%), в зоне распыления требуется вентиляция. Распыление в горизонтальном направлении препятствует растеканию покрытия в нежелательном направлении и способствует образованию целостной пленки. Настойчиво рекомендуется использовать маскирование. За более подробной информацией по маскированию обращайтесь к 8.3. Для обеспечения охвата покрытием всей зоны, его наносят тонкой пленкой (приблизительно 0.025 мм) при каждом прохождении платы, вращая плату под углом 90^0 после каждого прохождения.

Если первоначальные пусковые затраты на систему аэрозолей для нанесения покрытия могут быть низкими, эффективность под вопросом. Доля использования материала обычно составляет 25 – 40%. Обычно наблюдается перерасход материала за счет распыления излишнего количества и на зоны маскирования.

8.7.1.2 Ручной пульверизатор

Действие ручного пульверизатора похоже на аэрозольное распыление. необходимо обеспечить достаточную вентиляцию. Распыление производят в горизонтальном направлении в четырех тонких (0.025 мм) проходах, вращающих плату на 90^0 после каждого прохода. Настоятельно рекомендуется наносить маску. Процесс использования ручного пульверизатора включает пульверизатор, резервуар с веществом, прибор циклического действия (система запуска, клапанное управляющее устройство и др.). Многие производители пульверизаторов предоставляют ручные пульверизаторы, которые с успехом можно использовать в операциях, производимых вручную (рисунок 8-7). Подачу тонкой струи в автоматическом режиме можно контролировать с помощью регулировки давления жидкости и воздуха. Во время использования резервуар с веществом должен обеспечивать нагнетание конформного покрытия с сухим воздухом без смазки или азотом. В особенности это предусмотрено для покрытий, отверждаемых во влажной среде, которые могут приобретать свойства отвердевшего покрытия, длительное время находясь под воздействием нефильтрованного воздуха.

С. 29 рисунок 8-7 Окрасочная кабина с ручным пульверизатором

Необходимо соблюдать осторожность по отношению к покрытиям, отверждаемым под воздействием УФ. Вследствие наличия УФ в солнечном освещении, резервуар с веществом следует предохранять от непосредственного воздействия УФ. Для этого стенки резервуара выполняют из черного ли светонепроницаемого материала.

Использование ручного пульверизатора может быть быстрым и сравнительно недорогим способом нанесения конформного покрытия. По сравнению с аэрозолями распылительная головка может принимать более вязкие жидкости и не требует разбавления растворителем. При усиленном контроле процесса распыления коэффициент передачи увеличивается, хотя в целом это зависит от затрачиваемого времени и сложности конструкции каждой печатной платы.

При работе с ручным пульверизатором в открытой кабине чувствуется запах, а также приходится распылять излишнее количество материала. Согласно техническим характеристикам NFPA в открытой кабине скорость распределения струи должна составлять 30.48 м/мин. Это может выражаться в разрежении значительного количества кондиционируемого воздуха (объем кондиционируемого воздуха составляет 30.48 м/мин x фут^2 открытой камеры). В особенности если камеру используют для сушки установленных в нее сырых деталей. Требуется, чтобы камера была большего размера и была предназначена для использования на протяжении расширенного промежутка времени. Стоимость кондиционированного (температура, влажность) очищенного воздуха может быть высокой и ее необходимо учитывать при расчете пусковых затрат. При работе с ручным пульверизатором и аэрозолями, а также покрытиями на базе растворителей (за исключением покрытий на водной основе) оператор должен быть экипирован респираторным оборудованием.

Камера, в которой производится распыление, снабжена фильтрами для задержки твердых частиц. Эти фильтры должны быть сменными и могут рассматриваться как опасные отходы в зависимости от типа используемого покрытия и местных нормативных актов.

8.7.2 Автоматический пульверизатор

Автоматические пульверизаторы удобно использовать для распыления при наличии большого числа одинаковых или разнородных деталей. Для автоматизации процесса распыления можно использовать один из двух методов: поршневую систему распыления или устройство с выборочным покрытием. Система выборочного распыления описана в 8.7.5.

Перед распылением вручную система автоматического распыления имеет ряд преимуществ. За примерами обращайтесь к рисункам 8-8, 8-9 и 8-10. Автоматизированная система обеспечивает повышенную проникающую способность и более равномерное распределение покрытия, а также не требует контроля качества специально обученными инспекторами. Помимо обученных операторов со знанием производственного оборудования не требуются специальные навыки.

Как бы то ни было, инвестиций требуют устройства по экранированию и маскированию, а также автоматизация оборудования (рисунок 8-11, 8-12 и 8-13). А также автоматизированное оборудование предполагает наличие вытяжки в камере для распыления. Производитель уточняет список требований к системе. В конструкции некоторых автоматизированных систем для распыления предусмотрены сушильные шкафы непосредственно после камеры для распыления. Сушильные шкафы предназначены для получения деталей с высушенным покрытием. Пока деталь находится в сыром состоянии, любые манипуляции с ней недопустимы. В зависимости от типа покрытия, конструкция шкафов должна быть безопасной с точки зрения легковоспламеняющихся испарений, если такие образуются при отверждении покрытия.

Поршневые распылители включают бумажный ленточный конвейер, транспортирующий замаскированные компоновочные узлы в зону распыления. Отсюда устройство с распылительными головками перемещается в обратном направлении, вперед, выше компоновочного узла, образуя на поверхности ровную пленку. В каждую распылительную головку из резервуара поступает вещество, таким же образом, как при ручном процессе, который описан в 8.7.1.2.

Несмотря на потери вещества при чрезмерном распылении и распылении на замаскированные участки, благодаря грамотной конструкции системы можно получить коэффициент передачи в пределах 80%. При оптимальном размещении компоновочного узла на конвейерной ленте можно свести к минимуму потери вещества. На общую эффективность автоматизированной распылительной системы влияет каждый из перечисленных факторов:

температура, работа клапана, конструкция крышки пневмоцилиндра и распылительной насадки. При распылении обычно используется жидкость с меньшей вязкостью по сравнению с погружением.

8.7.3 Нанесение покрытия погружением

Самым недорогим и эффективным способом нанесения конформного покрытия является погружение. Этот метод заключается в том, что компоновочный узел опускают в ванну с покровным раствором (рисунок 8-14 и 8-15). Но в данном случае требуется маскирование чувствительных участков. Компоновочные узлы погружают в вертикальном положении. Толщина покрытия зависит от скорости погружения и извлечения. Обычно, рекомендуемая скорость погружения составляет 152 – 305 мм/мин. Применяемую скорость выбирают с учетом того, чтобы воздух, окружающий все детали, успел вытесниться. Компоновочный узел выдерживают в ванне после погружения до тех пор, пока не прекратится образование пузырьков.

Скорость извлечения должна быть ниже каскадного эффекта покрытия. Обычно она составляет 25-152 мм/мин. Чем выше скорость извлечения, тем тоньше покрытие компоновочного узла.

Слишком высокая скорость извлечения и большая вязкость материала может привести к образованию наплывов и неровного покрытия на поверхности компоновочного узла. На равномерность распределения покрытия влияет гравитация и ее следует учитывать до процесса нанесения покрытия. Проконсультируйтесь с производителем материала конформного покрытия по поводу испытанного способа предотвращения потерь растворителя и отверждения материала во время погружения.

С.31 рисунок 8-11 Конвейерный аппликатор

В широкомасштабном производстве самым распространенным способом нанесения покрытий является погружение, поскольку можно использовать различные зажимные приспособления или переносчики, которые позволяют задействовать до 40 компоновочных узлов за один цикл. Обычно за час обрабатываются до 500 компоновочных узлов. Тем не менее, следует предпринять меры по снижению необходимости маскирования. Этого можно добиться через разработку локализованных компонентов, не предназначенных для покрытия с одной стороны компоновочного узла.

8.7.4 Нанесение покрытия с помощью кисти

Если требуется нанести покрытие на небольшие участки компоновочного узла, прибегают к использованию кистей. Это очень трудоемкий процесс, не всегда приемлем при больших объемах производства. Данный метод основан на том, что покрытие наносится на поверхность компоновочного узла вручную с помощью кисти или аналогичного устройства. В этом случае снижается необходимость маскирования. Этот метод нанесения покрытия наиболее часто используется в режиме восстановительных работ или при устранении дефектов нанесенного покрытия. Используя данный метод, очень сложно добиться получения однородной пленки по всей поверхности узла. При работе с кистью велика вероятность образования воздушных пузырьков. Поэтому может возникнуть необходимость нанесения лишь одного двух мазков кистью.

Также следует уделить внимание покрытиям, отверждаемым во влажной среде

С. 31 Рисунок 8-12 Автономный аппликатор пакетного режима

Будьте осторожны при образовании воздушных пузырьков. При работе с кистью велика вероятность образования воздушных пузырьков. Поэтому может возникнуть необходимость нанесения лишь одного двух мазков кистью.

Также следует уделить внимание покрытиям, отверждаемым во влажной среде, поскольку может измениться вязкость жидкости при нанесении покрытия. Для удаления затвердевшего покрытия с кисти используйте подходящий растворитель или очищающее средство.

8.7.5 Выборочное покрытие

Выборочное покрытие – технология, набирающая рост в области нанесения конформных покрытий. Данный метод предназначен для снижения и в конечном итоге устранения необходимости маскирования компоновочных узлов. Это может существенно снизить затраты на рабочую силу, связанные с другими методами. Выборочное нанесение покрытия подходит для поточного производства, его удобно использовать в производстве больших объемов. Первоначальная стоимость пусковых затрат выше стоимости

операций вручную, но экономическую выгоду можно получить за счет снижения затрат на рабочую силу и более эффективного использования материала.

Робот по нанесению выборочного покрытия может совершать запрограммированные движения по двум, трем или четырем осям. Во многих случаях дополнительные движения возможны благодаря осям поворота. Большое число осей, используемых этой системой, большая гибкость и, соответственно, широкий диапазон конфигураций компоновочного узла должно позволять наносить покрытие без маскирования. Стандарты движения по осям x, y, z сохраняются. Управление движением по поворотным осям осуществляется за счет пневматического устройства или устройства двигателей. За счет этих движений происходит изменение точки приложения клапанов под углом из вертикального положения. Оси поворота обычно используются при начале и остановке движения, такие движения обычно не программируются. Система движения по четырем осям является программируемой и допускает ускорения и замедления движения, позволяет производить легкое ускорение и замедление. Система движения по четырем осям позволяет производить вращения всего рабочего механизма на 360^0.

При выборочном нанесении покрытия используется рассеянный туман или аппликатор для нанесения равномерного покрытия толщиной 0.025 мм. Для точечного нанесения материала на участки, не полностью занятые покрытием или вокруг зоны с маской, используют игольчатые клапаны. Материал из емкости поступает в распределительную головку, а новая порция вещества нагнетается сухим воздухом или азотом.

Системы выборочного покрытия предлагают такую степень управления технологическим процессом, которая недоступна при выполнении операций вручную. Например, расходомер позволяет получить реальные временные данные о том, сколько покрытия было нанесено на каждый компоновочный узел.

8.7.6 Вакуумное напыление (XY)

Вакуумное напыление полимера полипараксилелена (парилена) в виде пленки на основание производят в вакуумной камере (рисунок 8-15). Поскольку материал покрытия находится в газообразном состоянии, его вещество способно проникать в мельчайшие пространства, оседая на всевозможных поверхностях. Этот способ используют, когда необходимо

нанести покрытие на всю поверхность. Не предназначенные для покрытия участки можно замаскировать, используя различные методы.

Толщина наносимой пленки точно регулируется от субмикрон до нескольких мил. Покрытие получается очень равномерным, также можно спрогнозировать потребность в повторной процедуре. Полипараксилелены обладают очень сильными диэлектрическими свойствами, являются превосходными гидроизолянтами и антикорами с низким газовыделением. Это стойкое покрытие, не изменяющееся со временем, поскольку является чистым полимером.

Нанесение данного покрытия требует специального вакуумного оборудования и обученного персонала, либо организации, предоставляющей услуги по нанесению покрытия.

С. 33 Рисунок 8-16 Устройство для вакуумного напыления полимера

8.8 Многослойность

Если требуется многослойное покрытие, поставщики должны быть осведомлены о подходящей многослойной технологии. Некоторые химические соединения требуют полного отверждения, некоторые - частичного до начала процедуры нанесения покрытия. Поверхностная обработка для лучшей адгезии между разными слоями покрытия не является общепринятой практикой, но в некоторых случаях используется.

А также пользователю следует помнить о требованиях по отношению к рекомендуемой толщине покрытия. Вследствие многослойности некоторых материалов может потребоваться большее общее количество пленки, поскольку для смачивания поверхности с уже имеющимся одним слоем будет требоваться уже большее количество материала.

8.9 Механизмы отверждения

В зависимости от химического состава покрытия механизм его отверждения можно классифицировать следующим образом. Отверждение некоторых материалов проводят дважды для обеспечения полного отверждения всего покрытия, нанесенного на поверхность компоновочного узла. Смотрите рисунок 4-1 с механизмами отверждения покрытий разного химического состава.

8.9.1 Отверждение при комнатной температуре

Отверждение при комнатной температуре проходит достаточно медленно. Покрытия на базе растворителей, которые отверждаются при температуре окружающей среды, должны отверждаться при комнатной температуре, чтобы до нанесения покровного слоя растворитель успел испариться с поверхности (8.10.4). При умеренном нагреве (8.9.3) и/или влажности (8.9.5) отверждение некоторых покрытий может быть ускорено.

8.9.2 Отверждение при нагреве

Нагрев необходим для того, чтобы произошло отверждение покрытия. Как правило, отверждение при нагреве происходит быстрее, чем при комнатной температуре или влажности. Некоторые покрытия требуют нагрева для непосредственного отверждения, для некоторых покрытий нагрев играет лишь роль ускорителя (8.9.3).

8.9.3 Нагрев для ускорения процесса отверждения

Отверждение, протекающее при комнатной температуре, может быть ускорено при некотором нагреве. Ускоренное отверждение в условиях влажности требует наличия определенного уровня влажности (8.9.5). Обсудите с поставщиком материала покрытий специфические условия ускоренного отверждения.

8.9.4 Отверждение под действием УФ

Механизм отверждение конформных покрытий под действием УФ носит вторичный характер, поскольку под действием УФ происходит отверждение покровного материала, мигрировавшего под устройство, где недоступна абсорбция УФ лучей. Вторичными механизмами для покрытий, подвергнутых воздействию фото-инициаторов, могут быть окружающая влажность для силиконов (SR), катализированная, полученная при нагревании, аэробная влажность или влажность окружающей среды для органических AR, ER, UR и ARUR материалов. Химический состав воздействующих аэробных УФ факторов не всегда является полностью эффективным, в зависимости от мощности покрытия и способности окружающего воздуха проникать сквозь покрытие. Длина волны, интенсивность, продолжительность воздействия УФ должны быть проверены поставщиком на подходящем материале покрытия.

8.9.5 Отверждение в условиях влажности

За условия влажности принимается влажность окружающей среды. Допустимый уровень относительной влажности, воздействуя на протяжении некоторого промежутка времени, непосредственно влияет на скорость инициации отверждения. Важно соблюдать меры предосторожности, чтобы не допустить преждевременного отверждения при сохранении требуемых условий.

Поскольку атмосферная влажность воздействует на покрытие и провоцирует его отверждение, отверждение начинается изнутри, чаще всего не глубже 6.35 мм. Если требуется толщина покрытия более нескольких мил, допустимо более длительное отверждение. Для ускорения процесса можно немного увеличить температуру и уровень влажности, аналогично с вышеописанным случаем отверждения при комнатной температуре. Обычно температура не превышает 65^0C.

8.9.6 Каталитическое отверждение

Отверждение каталитических материалов покрытия происходит за счет реакции между двумя деталями. Отверждение каталитических материалов происходит при первом соприкосновении двух компонентов между собой. Обычно для ускорения процесса отверждения на первоначальном этапе используют такие механизмы, как УФ воздействие или нагрев. Если на такие материалы не удалось воздействовать УФ, например, при затенении участка под компонентом, прибегают к каталитическим реакциям без дополнительных технологических операций или вынужденного напряжения компонента, паяных соединений или участка покрытия. Каталитическое отверждение распространено среди органических материалов без растворителя.

8.10 Рассмотрение процесса отверждения

Характеристика отверждаемых конформных покрытий содержится в справочном листе технических данных, который предоставляет поставщик материала покрытия. Если не следовать данным рекомендациям относительно условий отверждения, результаты могут получиться различными.

Отверждение можно рассматривать как завершенную химическую реакцию, в результате которой получают материал с заданными свойствами. Самым последним свойством обычно является адгезия. В зависимости от химического состава конформного покрытия, может потребоваться от нескольких часов до нескольких дней. График отверждения можете спросить

у поставщика материала. Если после отверждения предвидятся окончательные испытания или «обжиг», необходимо пересмотреть время, необходимое для получения оптимальных характеристик материала.

8.10.1. Отверждение побочных продуктов реакции

В результате отверждения некоторых покрытий могут оставаться побочные продукты реакции. Побочными продуктами реакции некоторых силиконов могут являться метанол в небольшом количестве и другие циклические соединения, которые способны образовать микроскопический слой на или вокруг механического реле и головок считывания/записи. Ввиду большого разнообразия химических веществ, пользователю необходимо проконсультироваться с поставщиком материала по поводу побочных продуктов реакции и летучих соединений, которые могут образоваться в результате использования конкретного материала.

При использовании продукции, образующей побочные продукты реакции, следует выяснить, какие побочные продукты образуются и не являются ли они коррозийными. Многие силиконы, используемые в качестве материала покрытия, могут выделять побочный продукт метанол, который не влияет на отверждение и не вызывает коррозию. Следует избегать таких материалов покрытия, как силиконы, отверждаемые в присутствии ацетонов, поскольку они выделяют уксусную кислоту.

8.10.2. Экзотермия

В ходе реакции отверждения некоторых катализированных материалов или материалов, состоящих из двух частей, может выделяться некоторое количество теплоты. Это не представляет проблем для процесса нанесения конформного покрытия или его отверждения, поскольку покрытие наносится тонкой пленкой. Экзотермическая температура покрытия в виде тонкой пленки настолько незначительная, что ее значения нельзя отобразить на графике <0.254 мм.

Материал в виде разнородной массы (>1 литра) может достигать очень высоких экзотермических температур, если он не использовался в пределах срока годности и был оставлен в больших количествах. Не следует оставлять материал в системе подачи жидкости или резервуаре после окончания рекомендуемого срока годности. Это следует проверять вместе с поставщиком материала.

8.10.3 Усадка

Для получения различного уровня вязкости некоторых покрытий применяют растворители/наполнители при нанесении покрытий различными способами. Эти добавки увеличивают объем материала от 10 до и свыше 80%. Если после нанесения покрытия происходит испарение растворителя, говорят об усадке. Помимо усадки вследствие испарения растворителя, происходит усадка вследствие образования побочных продуктов реакции. Из-за усадки могут появляться/исчезать острые углы, края, точки и другие изменения конфигурации.

Усадка также может привести к образованию остаточного напряжения, в частности, вокруг интерфейса основания компонента. Дополнительное напряжение на покрытие, паяные соединения и компоненты может оказывать варьируемая толщина покрытия. Участки вокруг контактов с толстым слоем покрытия становятся точками концентрации остаточного напряжения. Несовпадение коэффициентов теплового расширения металла и пластика может привести к образованию трещин в паяном соединении и/или компоненте. Чем больше это несоответствие, тем быстрее образуется трещина. Напряжение также может быть усилено за счет высоких температурных колебаний, поскольку полимеры имеют очень низкий показатель теплопередачи.

Самым лучшим способом снижения остаточного напряжения является сокращение колебаний толщины покрытия.

8.10.4. Преждевременное отверждение поверхности/задержка растворителя

Ввиду высокой конкуренции среди производителей электроники, способы сохранения стоимости изделий все время находятся под контролем. Одним из самых простых способов повышения темпов производства является уменьшение цикла отверждения/сушки. К сожалению, подобные попытки экономии средств, вне зависимости от стоимости изделия, могут привести к возникновению серьезных проблем с надежностью.

Быстрое отверждение может привести к образованию на поверхности покрытия слоя, способного препятствовать испарению растворителя. Это может привести к образованию пузырьков/пор в покрытии, а также будет препятствовать формированию поперечных связей полимерной цепочки материала конкретного типа. Некоторые растворители могут разъедать основание или замаскированные участки припоя, если их оставить на

длительное время. Другие разбавители, такие как вода, могут воздействовать и растворять ионные загрязняющие вещества.

Подобные проблемы могут возникнуть из-за неравномерной толщины покрытия, обусловленной распределением поверхностного натяжения вокруг компонентов. Такие локализованные захваты – самое неудачное расположение из возможных вариантов, так как паяные соединения и корпусные элементы в таком положении подвержены риску.

Задержка растворителя/разбавителя также может встретиться, если не все пространство между компонентом и основанием заполнено покрытием, предотвращая испарение. Это может привести к проблемам, которые на первый взгляд не заметны, пока не удалить компонент.

Любые предложения и изменения по поводу повышения эффективности покрытия и процесса отверждения необходимо тщательно проверять до их непосредственного внедрения в производство.

8.10.5 Рекомендации относительно чрезмерного отверждения

Если недостаточное отверждение покрытия может привести к недоразвитию характеристик пленки, то чрезмерное отверждение может привести к образованию отрицательных характеристик, влияющих на свойства покрытия. В зависимости от химического состава покрытия и механизма отверждения, чрезмерное отверждение и несоблюдение условий, рекомендуемых поставщиком материала, могут привести к ломкости, обесцвечиванию, образованию ряби на поверхности и т.д.

8.10.6. Расслаивание

Для получения покрытия желаемой толщины необходимо учитывать их химический состав, поскольку для некоторых покрытий требуется их полное отверждение до нанесения следующего слоя. Некоторые покрытия не обладают липкими свойствами, не будучи полностью отвержденными.

8.11 Контроль за процессом нанесения покрытия

Для обеспечения надежности процесса нанесения покрытия и отверждения материала за процессом должным образом осуществляют мониторинг. Нанесение покрытия является заключительной процедурой на этапе сборки электронных приборов, и ошибка на данном этапе может иметь серьезные последствия. Некоторое оборудование допускает автоматизированный контроль и самокоррекцию при нанесении. Можно использовать многие

устройства контроля. Совместно с деталями можно использовать простые регистрационные купоны для измерения толщины сырого покрытия, толщины сухого покрытия, общие показатели покрытия и степень отверждения. В конвейер выборочного нанесения покрытия можно включить несколько мониторов статистического управления технологическим процессом, например, апробация покрытия за счет флуоресцентного красителя, который добавляют к основному химическому составу. Для обеспечения надежности покрытия необходимо поводить мониторинг за процессом его нанесения с соответствующим документированием.

8.12 Указания по приемочному контролю

Для дальнейшего обсуждения смотрите IPC/EIA J-STD-001, IPC-HDBK-001, IPC-A-610.

Уже после первого нанесения покрытия на компоновочный узел важно проверить и оценить, насколько удачной была эта процедура. Чаще всего проводят визуальный осмотр. При осмотре оператор может руководствоваться различными критериями, включая:

- зону охвата покрытием (8.4) и целостность маскированных участков;
- толщину и однородность покрытия;
- пустые необработанные участки;
- образование мостиков;
- качество изготовления изделия.

Осмотр можно проводить до и/или после процесса отверждения. Это зависит от особенностей вашего процесса и легкости восстановления и повторной обработки вашего покрытия.

Многие покрытия имеют флуоресцентные индикаторы, которые во многом облегчают осмотр. Эти флуоресцентные участки начинают светиться, если компоновочный узел разместить под черное или УФ освещение, тогда оператор может с легкостью обнаружить участки с покрытием и без.

При выборочном или автоматизированном покрытии визуальный осмотр настолько не распространен из-за большого числа компоновочных узлов, предназначенных для нанесения покрытия. В данном случае можно использовать автоматический контроль качества. С помощью датчика

присутствия можно обнаружить наличие покрытия на конкретном участке компоновочного узла. Тем не менее, нельзя подтвердить толщину, равномерность или смещение покрытия. С помощью расходомера можно проверить объем покрытия, нанесенного на каждый компоновочный узел, чтобы не подвергать детали с допустимым отклонением к излишнему участию в процессе.

8.12.1 Осмотр с использованием увеличительных приборов

Увеличение 2х на 10х является существенным. Большее увеличение может потребоваться для осмотра участков с предположительным дефектом. Допустимое разрешение увеличительных приборов должно позволять производить оценку процесса нанесения покрытия. При этом предпочтительно проводить и визуальный осмотр, но это не является обязательным условием.

8.12.2 Источник света/УФ излучения

В процессе осмотра можно использовать слабое УФ освещение, источники бестеневого и флуоресцентного освещения. Флуоресцентный эффект покрытия под темным освещением намного облегчает процесс осмотра. Самый оптимальный вариант размещения компоновочного узла при осмотре – на расстоянии 50 – 152 мм от источника освещения.

8.12.3 Качество процесса нанесения покрытия

Необходимо проводить оценку качества процесса нанесения конформного покрытия для обеспечения гарантии того, что покрытие удовлетворяет все соответствующие требования. Независимо от способа нанесения, пленка должна обладать свойствами налипания. На покрытии после отверждения не должно быть никаких вздутий или трещин, которые ослабевают герметичность и в итоге вызывают коррозию. В покрытии не должно быть никаких пустот, пузырей, инородных частиц, отслоений, складок или лишенных клея участков (рисунок 8-17 и 8-18).

Если покрытие наносилось на компоновочный узел методом погружения, на узле могут остаться потеки или локализованные наплавления по краям платы. В местах наплавлений могут находиться пузыри, которые не влияют на функциональные характеристики и надежность покрытия.

Если производственный процесс включает в себя этап удаления маски, необходима проверка качества выполнения этой процедуры для того, чтобы остатки частиц маски и разрушение покрытия, платы или компоновочного

узла были минимальными. Разрушение покрытие может выглядеть как отделение материала от основания, отслаивание материала, образование трещин, загиб краев, физическое повреждение основания и/или компонентов.

Примеры критериев приемки и отказа даны в стандарте J-STD-001 IPC-A-610.

С. 35 Рисунок 8-17 Потеря адгезии конформного покрытия

С.36 Рисунок 8-18 Поры в конформном покрытии

8.13 Аспекты, касающиеся окружающей среды, здоровья и безопасности

Есть несколько положений по безопасности, которые следует выполнять на всех этапах производственного процесса. Первым и самым главным условием является первоначальная чистота и меры предосторожности. Вся рабочая область должна быть достаточно чистой, пролитую жидкость следует немедленно вытирать, еда и напитки никогда не должны присутствовать в рабочей области, на протяжении всего производственного процесса использовать средства защиты для глаз. Для всех покрытий, растворителей и т.д. имеются таблицы данных по безопасности. Эти таблицы должны быть расположены в месте, доступном для отдельного работника, имеющего дело с химическими веществами и материалами, их содержащими. Любой оператор, работающий с конкретным покрытием, растворителем и т.д., должен пересмотреть эту таблицу данных и следовать правилам работы с данным материалом.

Любой метод нанесения покрытия в плане здоровья и безопасности не представляет угрозы для пользователя. При выполнении операций вручную оператор должен быть крайне ответственным, чем при нанесении покрытия распылением. В любом случае потенциальный риск связан с вдыханием/вентиляцией и раздражением кожных покровов. Очень важно вовремя проводить вентиляцию в местах нанесения, отверждения и восстановления покрытий. Большинство конформных покрытий вызывают раздражение кожных покровов, поэтому следует избегать непосредственного контакта с ними. Поэтому при работе с конформными покрытиями используют перчатки и другие средства защиты. Проконсультируйтесь со своим специалистом по поводу здоровья и безопасности.

8.13.1 Выбор вязкости

Производители покрытий хорошо знакомы с воздействием окружающей среды, использующей растворители. Это привело к изменению состава нескольких известных покрытий на базе растворителей. По отношению к новым растворителям нет такого регламента, как к традиционным старым (ксилол, толуол, метил этил кетон). Изменение химического состава позволяет компаниям продолжать использовать покрытия со старой формулой без наличия измельченных частиц для лучшего испарения летучих органических соединений. Причем, не проводят оценку характеристик новых покрытий, а пользуются аналогичной характеристикой старого покрытия. Обязательные требования к растворителю, используемому при выборе вязкости, вы можете узнать у органов местного управления.

8.13.2 Напыление покрытия

При напылении конформного покрытия крайне важно не забыть про вентиляцию. При напылении вручную процедуру следует выполнять под вытяжкой, с респиратором или более совершенными средствами защиты от вдыхания паров. Если процесс напыления автоматизирован, в конструкции оборудования должна быть предусмотрена собственная вентиляционная система. Кроме того, все требования по технике безопасности должны быть соблюдены: защита глаз, защита кожных покровов (перчатки, халаты), отсутствие еды и напитков на рабочем месте, освещенная рабочая область.

Таблицы данных по безопасности материалов для любых растворителей, используемых в качестве разжижителей, должны быть пересмотрены и заполнены соответствующие протоколы по безопасности. Например, если используемый растворитель является легковоспламеняющимся, хранить его следует в соответствующем месте, не представляющем угрозу воспламенения.

8.13.3 Нанесение покрытия методом погружения и с помощью кисти

При нанесении конформного покрытия методом погружения и с помощью кисти также следует соблюдать требования по технике безопасности: надевать средства защиты глаз, кожных покровов (перчатки, халат), содержать в чистоте рабочее место и помнить, что там не должны находиться продукты питания. В рабочей зоне должна быть хорошая вентиляция. Особую значимость это имеет при нанесении покрытия с помощью кисти. При этом рабочему опасно работать без перерыва длительное время,

поскольку он находится в непосредственной близости от рабочей поверхности и вдыхает вредные испарения высокой концентрации.

Таблицу данных по безопасности материалов растворителей, используемых для разжижения, следует пересмотреть и заполнить соответствующий протокол по безопасности. Например, если используемый растворитель является легковоспламеняющейся жидкостью, хранить его следует в соответствующем месте, не представляющем угрозу воспламенения.

8.13.4 Вакуумное напыление

Принципы работы и использования оборудования для вакуумного напыления должны быть хорошо ясны, и следует периодически пересматривать правила по технике безопасности. Все стандартные требования по технике безопасности должны быть соблюдены: средства защиты глаз, кожных покровов (перчатки, халат), отсутствие продуктов питания, освещенная рабочая область.

8.13.5 Отверждение

При отверждении конформных покрытий часто может наблюдаться испарение растворителя. Поэтому должны быть предприняты соответствующие меры по обеспечению вентиляции. При отверждение под воздействием УФ необходимо соблюдать меры предосторожности от воздействия Уф на органы зрения и кожные покровы.

9 ХАРАКТЕРИСТИКА ПОКРОВНОЙ ПЛЕНКИ

Все полимерные конформные покрытия имеют разные физические свойства, в зависимости от цепочки полимера и других измененных химических элементов или добавок. При выборе покрытия специалисту следует учитывать:

- физические свойства отвердевшего покрытия. Пример: покрытия, не устойчивые к действию соленого воздуха, не должны наноситься на оборудование морской навигации.

- Как эти свойства могут изменяться в зависимости от операций с покрытием. Пример: время самовыравнивания и задержка растекания могут существенно нарушиться, если покрытие используют по истечении срока годности.

- Как эти характеристики могут измениться со временем под влиянием среды конечного использования. Пример: покрытия могут сделаться хрупкими или потемнеть под воздействием высоких температур.

- Покрытия, «одобренные» различными стандартами и техническими характеристиками из раздела 2 настоящего руководства, будут протестированы, чтобы можно было удостовериться, что все нижеследующие спорные вопросы рассмотрены. Рекомендуется спрашивать у производителя копию протокола испытаний.

9.1 Внешний вид/цвет покрытия

Прозрачность покрытия оборудования часто является затруднительным вопросом. Заказчику может понадобиться рассмотреть идентифицирующие пометки на поверхности компоновочного узла или специалисту сервисной службы может потребоваться провести осмотр выводов до начала ремонтных работ. В технических условиях обычно оговаривается степень прозрачности покрытия. Желаемый внешний вид и прозрачность определяют с помощью скрининга различного внешнего воздействия.

9.2 Диэлектрические характеристики

При нанесении конформного покрытия на поверхность компоновочного узла, оно становится частью диэлектрической системы, и влияет на электрические характеристики. Если при разработке конформного покрытия этот момент не принять во внимание, схема может не функционировать, как было задумано.

9.2.1 Электрическая прочность диэлектрика

Электрическая прочность диэлектрика – это величина, показывающая силу сопротивления проводящему электричеству, обычно высокому испытательному напряжению на протяжении заданного промежутка времени. Самые современные покрытия могут выдерживать напряжение 5000 вольт в течение 60 секунд. При разработке оборудования, которое будет подвергаться высокому напряжению или высокому коронарному разряду следует учитывать электрическую прочность диэлектрика.

9.2.2 Сопротивление изоляции

Сопротивление изоляции – это величина сопротивления электрическому току. Чем выше сопротивление изоляции, тем лучше считается изоляционный материал.

Влагостойкость или влагонепроницаемость показывает, насколько прочны изоляционные свойства материала под воздействием условий повышенной температуры и влажности. Материал с низким значением влагостойкости и сопротивлением изоляции будет обеспечивать слабую защиту схеме в условиях повышенной влажности.

9.2.3 Q-резонанс

Как было сказано ранее, при нанесении конформного покрытия на поверхность компоновочного узла полимеры покрытия становятся частью диэлектрического равенства. Некоторые диэлектрические свойства покрытия зависят от электромагнитных частот. При работе оборудования на высоких частотах, покрытие может изменить ответную реакцию схемы, поскольку ее диэлектрические свойства изменяются с частотой.

9.2.4 Диэлектрическая постоянная и тангенс угла потерь

Диэлектрическая постоянная и тангенс угла потерь показывают, насколько материал может снизить распространение электромагнитных волн или показывает величину потери электромагнитного сигнала. Материалы с очень низким значением диэлектрической постоянной, такие как политетрафлюроэтилены (PTFE) или керамика, имеют очень низкие значения диэлектрической постоянной и тангенса угла потерь. РЧ сигналы не требуют большого расхода энергии, а возрастание/снижение времени оказывают минимальное воздействие на такое основание, именно поэтому их выбирают для высокоскоростной/высокочастотной аппаратуры. И наоборот, материалы с высоким значением диэлектрической постоянной могут вызвать значительные потери энергии при передаче РЧ сигналов.

Из-за Q-резонанса диэлектрическая постоянная и тангенс угла потерь зависят от частоты. Стандартная тестовая частота для материалов равна 1 КГц и 1 МГц. Материалы с высоким значением диэлектрической постоянной часто применяют там, где используется мощность постоянного тока, поскольку постоянный ток не зависит от частоты. Важно учитывать изменения диэлектрической постоянной и тангенса угла потерь, вызванные добавлением конформного покрытия в диэлектрический баланс. В идеале материал покрытия и материал основания должны иметь одинаковые значения диэлектрической постоянной и тангенса угла потерь, но на практике такое часто оказывается невозможным.

9.3 Термические свойства

Термические свойства конформного покрытия – это важная характеристика, поскольку покрытие должно выдерживать локальные воздействия горячими точками, которые вызываются компонентами или температурой окружающей среды, в которой находится электронный прибор. В некоторых случаях условия среды конечного использования могут включать экстремальную либо изменяющуюся в широком диапазоне температуру. Например, использование в индустрии автомобилестроения (11.2), космоса (11.4) и терморазведки (11.6). При выборе покрытия следует учитывать профиль температур, включая крайние температуры окружающей и операционной среды. При изменении температуры могут меняться и другие условия, например, влажность и давление. Рекомендуется учитывать все потенциально возможные изменения и их влияние на конформное покрытие.

Методику термоанализа можно использовать для определения свойств покрытия в зависимости от изменения температуры:

- Полезное отверждение.
- Температура стеклования.
- Степень отверждения.
- Уровень влажности и наличие летучих органических соединений.
- Такие механические свойства, как расширение, сжатие и модуль.

Примерами методики термоанализа могут служить: дифференциальная сканирующая калориметрия, термический механический анализ, динамический механический анализ и термический гравиметрический анализ. Более подробную информацию по данным методикам вы можете найти в приложении D.

9.3.1 Термостойкость

Высокая температура может вызвать краткосрочные изменения характеристик покрытия, таких как разупрочнение и потенциально низкое электрическое сопротивление. Долгосрочное воздействие высокой температуры может привести к обесцвечиванию, ломкости, растрескиванию и усадке, которые влияют на электрическую прочность и сопротивление изоляции. Низкие температуры могут привести к растрескиванию и отслоению покрытия вследствие разницы коэффициентов теплового расширения, вибрации и прогибов. Для определения пригодности термоцикла рекомендуется проводить испытания с макетами компонентов.

Силиконовые покрытия обычно используют в среде циклирования экстремальных температур. Наиболее подходящий диапазон обычно в пределах от -55^{0}С до +200^{0}С. Силикон – это эластомерный пластичный материал, представляющий наименьший риск для паяных соединений и возможных повреждений компонентов при высоких температурах. Полипараксилелены (парилены) сохраняют относительную устойчивость в условиях до 250^{0}С в бескислородной среде и при 120^{0}С в присутствии кислорода. Фторированные полипараксилелены относительно устойчивы при температуре до 450^{0}С в присутствии кислорода. Такие органические материалы, как AR, UR, ER, ARUR пригодны для использования при температурах от -40^{0}С до +125^{0}С. Самый последний слой покрытия на водной основе может сохранять свои свойства при -65^{0}С - +200^{0}С.

9.3.2 Термошок

Термошок, возрастание температуры на 30^{0}С за минуту, может способствовать напряжению покрытия из-за медленного изменения дельты температуры. Из-за смещения внутреннего коэффициента теплового расширения на некоторых хрупких покрытиях могут образоваться трещины и отслоения. Примером проверки термошока может служить испытательный метод 2.6.7.1 из IPC-TM-650, с помощью которого проверяют совместимость покрытия со специфичным температурным профилем.

9.3.3 Температура стеклования (T_g)

Температура стеклования – это температура, при которой происходит обмен аморфными полимерами между переохлажденной жидкостью и остекленевшим твердым телом. В результате аморфные полимеры проявляют совершенно другие физические свойства при температурах, выше и ниже характерных. T_g строго зависит от скорости изменения температуры при переходе вещества из одного состояния в другое.

9.3.4 Коэффициент температурного расширения (КТР)

Коэффициент температурного расширения – это изменение линейного размера по сравнению с первоначальным размером вследствие изменения температуры. Обычно используют две величины КТР: в плоскости X-Y (боковая) и в направлении Z (толщина). КТР обычно выше и ниже температуры остеклования. В идеале КТР должен быть как можно ближе к КТР между основанием, компонентом, припоем и покрытием. Некоторые пользователи коэффициент температурного расширения также называют термическим коэффициентом расширения.

КТР очень важно учитывать при разработке покрытия, поскольку, если показатели температурного расширения покрытия резко отличаются от аналогичных показателей основания, в покрытии могут образоваться трещины, нарушающие целостность покрытия, покрытие может повредить изоляцию компонента, подрывая надежность компонента. Это в особенности характерно для более твердых покрытий, таких как эпоксидные. Если для среды конечного использования характерны большие или ускоренные колебания температур, несоответствие КТР может привести к преждевременному износу покрытия или усталостному разрушению компонентов.

9.3.5 Температурный градиент

Температурный градиент, поперечный слою конформного покрытия, может вызвать нежелательное напряжение покрытия, даже при совместимости КТР покрытия с КТР компоновочного узла. Это может привести к растрескиванию покрытия.

Величина, при которой происходит стабилизация покрытия по отношению к минимальному температурному градиенту, - это функция удельной теплоемкости и коэффициента теплопередачи покрытия. Покрытие с высоким значением удельной теплоемкости или низким коэффициентом теплопередачи может иметь локализованные горячие участки длительное время. Если в среде конечного использования могут возникнуть большие или частые колебания температур, эти свойства необходимо учитывать.

9.4 Воспламеняемость

Конформное покрытие наносят на компоновочный узел на длительное время; оно покрывает большую часть поверхности компонентов и печатной платы. Потенциально оно может служить изоляцией либо пропускать любое короткое замыкание, которое может возникнуть. Воспламеняемость является важной характеристикой, которую необходимо учитывать при выборе конформного покрытия, в особенности если оно чувствительно к воспламенению в среде конечного использования.

Некоторые покрытия имеют огнестойкий состав. Конформное покрытие можно испытать на воспламеняемость с помощью ASTM D635 или FAR 25.853 и/или апробировать с помощью UL746C или UL94 (тест на вертикальное и горизонтальное возгорание) при необходимости. Прежде чем наносить покрытие, пользователю следует ознакомиться с его техническими характеристиками.

9.5 Пластичность

Для пластичности необходима смена температур и физическая гибкость компоновочного узла. При пониженной температуре покрытие становится более хрупким. Модуль Юнга или модуль упругости зависит от температуры. Материалы с низким значением модуля, такие как силиконы, являются упругими и фактически не сжимаются при большом диапазоне напряжений. Материалы с высоким модулем, такие как эпоксидная смола, являются твердыми.

Физическое движение печатных плат связано с их вибрированием и изгибанием. Наибольшую опасность для целостности покрытия представляют вибрации и изгибы ПП при низких температурах. Все печатные платы, включая жесткие, с изменением температуры приобретают гибкость. Поэтому, если среда конечного использование отличается большими вариациями/колебаниями температур, необходимо учитывать свойства гибкости материала покрытия.

Рекомендуется изначально проводить испытания на гибкость в диапазоне ожидаемых крайне низких температурах. Испытание на гибкость можно провести с помощью IPC-TM0650 Испытательный метод 2.6.11.1. Эти тесты должны включать виброиспытания и тест на гибкость схем с компонентами. Помимо осмотра на предмет образования трещин и расслоений, следует проверить, нет ли следов повреждений на паяных соединениях и компонентах.

Оценку влияния покрытия с высоким модулем на стеклянный корпус компонента дают с помощью испытаний циклического воздействия температур, если ожидается широкий температурный диапазон. Покрытия, заявленные как высоко надежные, должны проходить испытания на частоту резонансных колебаний, воспроизводящих среду конечного использования.

При разработке электронных контроллеров (особенно с компонентами с мелким шагом) следует учитывать модули и КТР. Силиконы обычно являются хорошими герметиками благодаря низкому модулю, даже при высоком КТР ($\approx$300 ppm/^{0}C).

9.6 Прочность на истирание

При выборе конформного покрытия следует учитывать вероятность механического истирания. Оно может быть вызвано неправильным обращением, хранением или транспортировкой, может выражаться в

появлении царапин, вмятин, складок и других наружных повреждениях поверхности, которые могут стать местом концентрации напряжения или попадания загрязняющих веществ. Трение может возникнуть при непосредственном контакте покрытия компоновочного узла с другими сборочными узлами, такими как монтажный жгут. Истирание может произойти при частом обращении, вставке и снятии компоновочного узла. Высокоскоростной воздушный поток, обусловленный трубкой Вентури, может постепенно разрушить покрытие из-за наличия в нем пылинок.

9.7 Растекание покрытия

Под влиянием гравитации и других силовых функций (например, воздушного потока) с течением времени покрытие может медленно растекаться. Растекание обычно ярко выражено у эластичных покрытий, поскольку они менее твердые. И наоборот, твердые покрытия менее чувствительны к данному явлению. А также частицы, волокна и другие инородные материалы, наносимые на покрывающую поверхность, могут оказаться инкапсулированными в материал покрытия, если оно из жидкого состояния переходило в твердое. В результате с течением времени может произойти разрушение защитного слоя покрытия. Эти условия могут быть усилены при повышенном значении T_g .

9.8 Гидролитическая стабильность

Для некоторых покрытий необходимым условием среды конечного использования является непосредственный контакт с влагой. На поверхности некоторых покрытий конденсат возникает лишь изредка. В обоих случаях покрытие сохраняет свои свойства в течение определенного, характерного лишь для него, промежутка времени. Покрытия, не обладающие гидролитической стабильностью, в условиях повышенной влажности будут терять свои свойства. На молекулярном уровне водный слой начинает формироваться при относительной влажности воздуха 40%. При относительной влажности воздуха 60% формируется слой воды толщиной от 2 до 4 молекул. При толщине водного слоя в 3-4 молекулы начинается химическая реакция с гидрофильными частицами, располагающимися на поверхности. При относительной влажности воздуха 80% толщина водного слоя достигает 10 молекул, осажденные частицы начинают растворяться. Это способствует проникновению потока свободных ионов в покрытие. Присутствие углеводородных соединений может способствовать формированию жидкого слоя на поверхности материала.

Главное правило заключается в следующем: при относительной влажности воздуха ≥60% могут возникнуть проблемы. Эксперимент показал, что субмикронные частицы пыли в атмосфере при относительной влажности воздуха ≥60% могут быть кислотными или основными. При влажности ≥80% начинается поток электронов, который может привести к утечке тока, росту дендритов и коррозии. Любое из условий: газ, кислота, субмикронные частицы пыли, могут разрушить схему вне зависимости от того, подавалась энергия или нет. Более подробную информацию вы можете найти в 8.1.3, приложениях E-I.

С помощью испытательного метода 2.6.11.1 из IPC-TM-650 можно проверить гидролитическую стабильность покрытия, смотря на то, будет ли оно переходить в жидкость или рассыпаться в условиях повышенной влажности при определенной температуре.

9.9 Проницаемость

Проницаемость обусловлена способностью одних веществ, таких как водяной пар, газ, различные частицы и т.д., проникать через другие материалы, например, покрытия. Все органические материалы обладают разной степенью проницаемости, в зависимости от химического состава входящих в него веществ. Такие покрытия, как эпоксидные, могут проявлять большую устойчивость по отношению к загрязняющим газам, таким как H_2S, по сравнению с силиконовыми.

Проницаемость материалов является важным фактором, который следует учитывать при выборе конформных покрытий, в особенности, если изделие будет использоваться в агрессивной среде или с повышенным уровнем влажности. Проницаемость материалов увеличивается при их разрушении под действием химических веществ среды конечного использования. Влага и газы, проникающие сквозь покрытие, могут аккумулироваться на проводящей поверхности компоновочного узла, приводя к утечке тока, росту дендритов, коррозии и расслоению поверхности покрытия.

Матрикс полимеров всех типов покрытий по размеру больше молекулы воды. Этим и обуславливается проницаемость водных молекул сквозь покрытия. В результате имеет значение лишь то обстоятельство, в какой момент водяной пар проникает сквозь покрытие. Тем не менее, влагозащита может быть обеспечена хорошей адгезией и отсутствием пор. Фактически, низкая проницаемость молекул воды может носить отрицательный характер, поскольку в данном случае требуется больше времени на сушку поверхности.

Когда полимеры абсорбируют влагу, его диэлектрические свойства изменяются. Поэтому не рекомендуется погружать компоновочные узлы с покрытием в любые жидкости на длительное время. Если погружение является необходимым условием среды конечного использования, необходимо предусмотреть герметичное ограждение и произвести оценку долгосрочной совместимости покрытия с жидкостью. Изменение температуры также может влиять на проницаемость покрытий. В особенности, если температура остекления материала покрытия намного превышает данные температурные изменения на протяжении длительного времени.

Проницаемость конформных покрытий можно проверить с помощью следующих испытательных методов:

- **ASTM E96** (проверка тока) стандартные испытательные методы для материалов покрытий на водопаропроницаемость.
- **ASTM D570** (проверка тока) стандартный испытательный метод для пластиков на водопоглощение
- ASTM F1249 (проверка тока) стандартный испытательный метод на скорость водопаропроницаемости пленки из пластмассы и расслоение с помощью модуляционного ИК датчика
- **ASTM D3833** (проверка тока) стандартный испытательный метод чувствительных к давлению покрытий на водопаропроницаемость.

9.10 Совместимость химических веществ и химическая стойкость

В среде конечного использования конформные покрытия могут подвергаться воздействию различных химических веществ. Общим для всех покрытий примером могут служить загрязняющие газы, остатки топлива, чистящие средства, оставляющие специфичные химические вещества, такие как разрушающие вещества организменной жидкости и биологических ядер. Эти вещества могут включать муравьиную кислоту, которую приносят насекомые и которая проникает сквозь корпус компоновочного узла. Когда покрытие уже выбрано, необходимо рассмотреть химическую совместимость покрытий с этими веществами при их возможном контакте. Необходимо, чтобы покрытия были устойчивы к действию таких веществ, например, не разрушались и обладали защитными свойствами от неблагоприятного воздействия этими веществами.

В некоторых случая важным моментом может быть двусторонняя химическая совместимость. В этих случаях важно убедиться, что материал покрытия не будет оказывать загрязняющего и разрушающего воздействия на среду конечного использования и другие изделия, находящиеся с ним в непосредственном контакте.

9.10.1 Топливостойкость

При эксплуатации в среде конечного использования, когда существует вероятность контактирования компоновочного узла с покрытием с топливной и/или машинной жидкостью, конечный пользователь должен проверить совместимость материала покрытия с этими веществами. Нефтепродукты, такие как бензин, реактивное топливо, дизельное топливо и др. могут выступать в качестве органических растворителей, воздействуя на некоторые покрытия. Гидравлическая и охлаждающая жидкости могут также содержать химические вещества, которые могут снизить качество конформного покрытия, понижая таким образом долгосрочную надежность изделия.

9.10.2 Биологическая совместимость

При использовании в области медицины важно, чтобы между покрытием и организменной жидкостью (например, кровью, мочой), а также тканями была обеспечена двусторонняя долговременная надежность и инертность. Основание не должно загрязняться продуктами дегазации и побочными продуктами реакции с катализаторами, растворителями, пластификаторами, которые могут оказать вредное воздействие на пациента. Для получения более подробной информации обращайтесь к п. 12.5.

9.11 Газоустойчивость

При использовании компоновочных узлов в газовой среде пользователь должен учитывать газоустойчивость с двух точек зрения. С одной стороны – проницаемость газов сквозь конформное покрытие. Эти газы не обязательно должны быть вредоносными для данного покрытия, но могут оказывать неблагоприятное воздействие на проводящую поверхность. Например, газы, растворяющиеся в воде, вступают в реакцию с поверхностным слоем, вызывая повреждение электрической цепи. С другой стороны – следует учитывать химическую совместимость этих газов с материалом конформного покрытия. Смотрите п. 9.9 Проницаемость и п.9.10 Химическая стойкость.

9.12 Коррозийная устойчивость

Влага и наличие особых ионов могут привести к коррозии. Конформное покрытие может замедлить или задержать проникновение влаги сквозь поверхность компоновочного узла, тем самым повышая устойчивость к коррозии. Таким образом, коррозийная устойчивость в большой степени зависит от проницаемости покрытия. Риск возникновения коррозии можно свести к минимуму благодаря хорошей адгезии, сокращению микроотверстий/пор и соответствующей толщины.

Ионы, участвующие в процессе образования коррозии, могут проникать сквозь проводящую поверхность из окружающей среды. Тем не менее, на самой поверхности компоновочного узла могут находиться ионы, вызывающие коррозию (остатки, включая флюсы, неотвердевшая паяльная маска и другие загрязнения). Покрытие может замедлить подвижность ионов на поверхности, повышая тем самым устойчивость к коррозии. Для предотвращения подобного рода коррозии рекомендуется производить тщательную очистку и просушку компоновочного узла до нанесения покрытия. Требования по очистке вы можете найти в п. 8.1.

9.13 Плеснестойкость

Большая часть технических требований устанавливают, чтобы конформные покрытия обладали плеснестойкостью. В состав некоторых материалов покрытий входят вещества, устойчивые к образованию плесени. В особенности это условие следует соблюдать при использовании оборудования биомедицинского назначения, а также аппаратуры, эксплуатирующейся в условиях, благоприятных для роста плесени. Даже если материал покрытия по своим природным свойствам не вызывает рост грибка, рост плесени могут спровоцировать остатки, например, отпечатки пальцев, поэтому следует выполнять все требования по чистоте, предъявляемые к компоновочным узлам с покрытием. Плеснестойкость можно проверить с помощью испытания IPC-TM-650, испытательный метод 2.6.1.1.

9.14 Устойчивость к действию УФ

Если оборудование будет подвергаться воздействию УФ излучения, например, на открытом пространстве или в космосе, УФ освещение не должно оказывать на покрытие разрушающее воздействие, либо вызывать незначительные изменения. Некоторые покрытия содержат примеси, которые абсорбируют УФ излучение до того, как это освещение сможет нарушить полимерную структуру покрытия. Эти примеси часто называют УФ

ингибиторы. Почернение и пожелтение покрытия после воздействия УФ считается нормой. Последствиями отрицательного воздействия УФ излучения являются: хрупкость и растрескивание покрытия и др.

Некоторые покрытия могут обладать устойчивостью при использовании на открытом воздухе и не обладать устойчивостью в условиях вакуума. Такие покрытия не подходят для использования в космической отрасли. Другие покрытия наоборот, неустойчивы на открытом воздухе и устойчивы в бескислородной среде, поэтому годятся для использования в космическом пространстве. Большое значение имеет рассмотрение всей окружающей среды, в которой прибор будет эксплуатироваться.

9.15 Радиационная стойкость

Космическое излучение (ядерные частицы и электромагнитное излучение) влияет на механические (прочность на разрыв, эластичность, растяжение, твердость), термические и оптические свойства материала покрытия.

Полимерные основания демонстрируют большое разнообразие необратимых последствий влияния радиации. Радиационная стойкость полимеров зависит от химической структуры материала, потому что возбуждение, вызванное действием радиации, локализуется в специфичных химических связях. Помимо ароматических колец, абсорбирующих энергию, химическая структура полимера сильно повышает радиационную стойкость полимера. Чаще всего полимеры, в состав которых входят ароматические кольца (бензолы) являются более устойчивыми по сравнению с теми, которые не содержат бензольного кольца.

В зависимости от химического состава используемого покрытия, радиация может привести к разрыву цепочки или образованию поперечных связей. Разрыв цепочки обычно происходит при размягчении и повышенной липкости покрытия, а поперечные связи упрочняют покрытие и делают его более хрупким. Когда полимерная цепочка покрытия изменяется под действием описанных механизмов, могут измениться физические и электрические свойства, влияя на надежность оборудования. Радиационную стойкость необходимо учитывать применительно к оборудованию, которое может случайно подвергнуться воздействию радиации высокой энергии, например, от ядерных реакторов, аппаратуры рентгеновского излучения, всего космического оборудования, медицинской стерилизации и др.

9.16 Дегазация

Некоторые материалы конформных покрытий содержат пластификаторы, в особенности эластомеры, термопластики и другие эластичные материалы. По истечении времени при определенных условиях покрытия могут начать выделять эти вещества, становясь более хрупкими, возможно, загрязняя близлежащие поверхности продуктами дегазации. Помимо этих веществ некоторые покрытия содержат нереакционные низкомолекулярные частицы, которые также могут начать выделять газ при определенных условиях.

Некоторым конформным покрытиям свойственна повышенная дегазация, что делает невозможным их использование в космосе. В вакуумных условиях космического пространства выделение газа происходит значительно быстрее. Выделение газа может вызвать проблемы в системах с оптическими приборами, зеркалами, иллюминаторами, где крайне важна хорошая видимость. Устойчивость к дегазации также важна для систем, где используются негерметизированные реле, переключатели, разъемы. Такие продукты дегазации, как циклические соединения, низкомолекулярные соединения, красители и флуоресцентные вещества, добавленные к материалу покрытия, способны образовывать на электрических контактах изолирующие осадки, которые могут привести к сбоям в электрической цепи. Для экранирующего материала от продуктов дегазации можно использовать аналогичные технические требования ASTM E-595 или NASA. Во избежание дегазации следует убедиться, что произошло полное отверждение покрытия.

10 РЕМОНТ И ПОВТОРНАЯ ОБРАБОТКА

Все классы конформных покрытий могут повергаться ремонту/повторной обработке при необходимости незначительного или локализованного ремонта/повторной обработки печатной платы и компонента. Если ремонт/повторная обработка являются необходимыми процедурами, лучше остальных для этого подходят акриловые покрытия. Более подробную информацию вы можете получить в руководствах IPC-7711 и IPC-7721.

10.1 Способы удаления покрытий

Методы частичного и полного удаления конформных покрытий с поверхности ПП могут включать в себя технология снятия верхнего слоя с помощью растворителя, механическое удаление с помощью абразивных и микроабразивных средств, сухого льда, термической деструкции,

эксимерного лазера и плазменной очистки. В большинстве случаев только выборочная локализованная сторона конформного покрытия, нуждающаяся в удалении, требует замены дефектного компонента.

10.1.1 Химический способ

Технология удаления покрытий с помощью химических веществ включает вздутие покрытия благодаря действию растворителя с дальнейшим разрушением покрытия и значительным ослаблением адгезии между покрытием и платой, в результате чего покрытие сходит с поверхности платы. Данную технологию можно применять на больших участках или даже на всей поверхности платы. Существует одна проблема, связанная с частичным удалением покрытия, - это растекание жидкости за границы участка покрытия, предназначенного для удаления. До начала использования следует проверить совместимость растворителя с компоновочным узлом.

Покрытие также можно удалить с помощью погружения узла в растворитель или распылением растворителя. Локальные участки покрытия платы можно удалить с помощью ультразвукового пульверизатора для очистки. Использование химических растворов для удаления покрытия должно быть ограничено, так как раствор может вызвать коррозию, либо будет затруднена очистка, особенно если раствор проникнет внутрь негерметичных компонентов.

Акриловые конформные покрытия легче всего удаляются при погружении в растворитель. Растворитель размягчает покрытие, а дальше его можно удалить с помощью щеток или легких абразивных средств и специальных скребков, соблюдая осторожность, чтобы не повредить основание. Некоторые конформные покрытия могут полностью раствориться в растворе растворителя и скребки уже не понадобятся. После удаления этот участок нейтрализуют, обильно промывая его деионизированной или дистиллированной водой, а затем сушат в печи при температуре 82^0C- 93^0C (в зависимости от термоустойчивости основания). Лучше всего проводить сушку в вакуумных печах при 100 торр примерно в течение одного часа, способствуя удалению загрязнителей.

10.1.2 Механическая чистка абразивными средствами

Включает в себя вращающиеся диски, шлифовальные и режущие инструменты. Необходимо соблюдать предосторожность, чтобы не удалить лишнего, материал основания под покрытием и не повредить низлежащие структуры. Механические методы также включают хирургический надрез,

который делается непосредственно на паяном соединении. Этот метод обычно используется в соединении с выделением припоя через надрез.

10.1.3 Средства струйной очистки

Средства струйной очистки представляют собой абразивные средства, распыляемые из насадки с высокой скоростью для локального удаления покрытия. В состав средств входят пластиковые гранулы, стеклянные шарики, частицы скорлупы грецкого ореха. Большинство систем разработаны для контролирования электростатическими разрядами, образующимися в результате быстрого перемещения частиц абразивного средства, подаваемого с высокой скоростью.

Пользователи предупреждены, что серьезные повреждения предметов, чувствительных к электростатическим разрядам (ЭСР), могут произойти, если используемый механизм не имеет встроенных контроллеров ЭСР, или они вышли из строя, либо уровень влажности упал ниже 30%. Рекомендуется проверять, чтобы напряжение, образующееся на распределительной насадке, было в пределах допустимого диапазона при каждодневном использовании механизма.

10.1.4 Абразивная очистка сухим льдом

Микрогранулы диоксида углерода локально наносят на участки покрытия, которые следует удалить. Данная технология удаления покрытия сочетает в себе двойной эффект: под действием низкой температуры покрытие становится хрупким и начинает крошиться.

10.1.5 Термическое разрушение

Термическое разрушение подразумевает использование паяльника или отрезного резца, работающего при нагреве (горячее лезвие или воздушный жиклер) для локального расплавления конформного покрытия. Необходимо соблюдать меры предосторожности во избежание обугливания и повреждений контактной площадки и основания в результате нагрева. А также все газы должны быть испарены с поверхности.

Все классы конформных покрытий (акриловые, полиуретановые, эпоксидные, силиконовые и полипараксилеленовые) могут подвергаться ремонту/повторной обработке через удаление термическим способом с поверхности платы/компонента. Термическое восстановление/повторная обработка конформных покрытий возможны благодаря размягчению и обугливанию предназначенных участков покрытия под действием потока

горячего воздуха или горячего лезвия при 300-400^{0}С. Покрытие может с легкостью обломиться или отслоиться от основания при незначительном воздействии абразивных средств. После удаления покрытия основание необходимо очистить с помощью растворителя и нейтрализовать, как описано в 10.11, до повторного нанесения.

10.1.6 Удаление покрытия с помощью лазера

Это тщательно разработанный метод удаления покрытия с помощью лазера. Система является дорогостоящей и обычно используется на небольших локализованных участках покрытия узлов микроэлектронных средств. Когда органические полимеры абсорбируют электромагнитное излучение, молекулы полимера переходят в возбужденное состояние (нагреваются). Когда радиационный пучок накопит достаточно мощности для нагрева полимера и выработки давления насыщенного пара, полимер начинает улетучиваться. Если энергия фотона достаточна для разрыва химической связи, образуются летучие соединения. Таким образом, удаление покрытия с поверхности компоновочных узлов с помощью лазера возможно двумя механизмами:

- Расплавление покрытия с дальнейшим испарением.
- Химическое разрушение покрытия на уровне действия фотонов.

При удалении покрытия любым из способов требуется одинаковое количество времени. Для фото-разрушения требуется меньшая мощность лазерного пучка. При фото-разрушении используют УФ лазеры, а при расплавлении и испарении покрытия – другие виды лазеров. Фокусировка лазерного пучка позволяет удалить покрытие на небольших участках. При расширении зоны охвата пучка аналогичным способом можно удалить покрытие со всей поверхности. Во всех случаях следует соблюдать меры предосторожности, чтобы не повредить печатную плату и ее электронные компоненты.

10.1.7 Метод плазменного удаления покрытия

Данный метод широко используется при удалении полипараксилеленовых покрытий. Для него необходимо наличие вакуумной системы, источника электромагнитного излучения и газоснабжение. Можно использовать как радиочастотные источники, так и источники микроволновой частоты. Механизмы плазменного травления можно подразделить на 4 категории:

- Механизм напыления.
- Химический механизм.
- Механизм активного усиления ионов.
- Механизм замедленного усиления ионов.

При напылении ионы механически выталкивают материал покрытия при низком давлении, тогда как термализованные нейтральные радикалы газообразных веществ вступают в реакцию с материалом покрытия с образованием летучих соединений. Осаждая ингибитор для исключения травильного реактива из рабочей области, небольшие локализованные участки можно протравить активным ионным механизмом. Процесс плазменного напыления характеризуется скоростью, избирательностью, единообразием и качеством обработанной поверхности. Изменчивость электромагнитных источников связана с:

- Соотношением электромагнитного поля и плотностью.
- Произведением плотности и характерной длины реактора.
- Произведением частоты генератора и плотности.
- Коэффициентом пропорциональности реактора заданной формы. Давление газа оказывает непосредственное воздействие на механизм напыления.

При использовании данного метода следует соблюдать меры предосторожности во избежание повреждений компоновочного узла.

10.1.8 Комбинированный метод повторной обработки

Во многих случаях комбинирование вышеперечисленных методов удаления покрытия может повысить эффективность этой процедуры. Каждый случай повторной обработки отличен от других, поэтому необходимо консультироваться с поставщиком материала покрытия для выбора наиболее подходящих методов удаления конформного покрытия определенного типа по химическому составу.

10.2 Очистка после зачистки поверхности

Операция зачистки поверхности от конформного покрытия в основном включает воздействие растворителем, который разупрочняет или растворяет органические полимеры. Если эти вещества оставить на основании, которое

также является системой органических полимеров, действие вымывающего агента необходимо контролировать и вовремя останавливать. Обычно эти материалы содержат галогениды или другие вещества, которые также могут вступить в реакцию с металлом и вызвать коррозию или миграцию металла на КУ. Поэтому очень важно очищать поверхность полностью.

Способ очистки во многом зависит от участвующего компоновочного узла и чувствительности к очищающим средствам или растворителям, а также от площади поверхности, предназначенной для удаления.

Производители вымывающих агентов должны предоставлять информацию о наилучших способах нейтрализации или удаления их химических веществ. Чаще всего в качестве основного агента для промывки используют деионизированную воду для снижения количества вымывающих агентов, а деионизированная вода не оказывает разрушающего действия на большинство покрытий. НЕ рекомендуется использовать изопропиловый спирт при свабировании зачищаемой поверхности. Это приводит больше к перераспределению вредных веществ, чем к удалению материала покрытия. На заключительном этапе очистки должны получить чистое, сухое основание, готовое для повторного нанесения покрытия.

Для удаления полиуретановых покрытий используют специальный гель или растворители, которые могут оставить проводящие остатки. При очистке компоновочного узла рекомендуется использовать смесь полярного и неполярного растворителя, подаваемую под давлением при мытье/промывке/сушке для полного удаления всех потенциально опасных остатков, образующихся в процессе зачистки конформного покрытия.

При зачистке всей поверхности процесс промывки и очистки протекает легче. При промывке деионизированной водой рекомендуется выбивать потоком все вымывающие агенты с поверхности платы. Если у вас имеется в наличии тестер чистоты на уровне ионов, вы можете измерить количество остатков ионных загрязнителей, а также провести мягкую очистку. При использовании данной опции убедитесь, что компоновочный узел проявляет толерантность к воде или изопропанолу.

10.3 Повторное нанесение покрытия

Для повышения эффективности восстановительных работ часто требуется убрать дефектные компоненты с поверхности компоновочного узла, на который ранее было нанесено покрытие. При каждом удалении покрытия и снятии или замене дефектного прибора следует производить очистку данной

стороны от остатков паяльного флюса и тщательную сушку. Про адгезию и степень очистки читайте в п. 7.3.

Степень намокания и адгезивные свойства по мере старения покрытия могут изменяться вместе с химическим составом. Некоторые покрытия не могут равномерно распределиться поверх старого покрытия на ту же первоначальную толщину. Может потребоваться наложение материала толщиной 0.05-0.08 мм, пока поверхностное натяжение не ослабнет на исходной поверхности. Если компоновочный узел имеет отклонения толщины покрытия, их следует учитывать. В некоторых случаях могут потребоваться активаторы склеивания или механическая шлифовка для обработки новой поверхности и разграничения сторон нетронутого покрытия. Уже при единичном использовании активаторов склеивания и процесса шлифовки, эта сторона готова для повторного нанесения покрытия. Очень важно при повторном нанесении покрытия использовать те же или совместимые с материалом исходного покрытия вещества. Материал повторно наносимого покрытия можно наносить с помощью кисти или шприца. При повторном нанесении покрытия на большие участки, маленькие участки, не предназначенные для покрытия, можно замаскировать, а на остальную область распылить покрытие. Покрытие должно затвердеть, пройти осмотр и может быть готово к использованию. Пользователи вместе с поставщиками материала должны проверять и подтверждать рекомендации относительно способов удаления и повторной обработки покрытия и все рекомендуемые активаторы склеивания.

Предупреждение – обычно на одном компоновочном узле не должны использоваться конформные покрытия разных типов, за исключением случаев, когда пользователь точно знает об их совместимости. Например, при ремонте компоновочного узла (например, при замене детали с конформным покрытием), который изначально имел акриловое покрытие, а повторно был покрыт полиуретановым покрытием, может наблюдаться недостаточное склеивание между этими двумя слоями покрытий разных типов, поскольку растворитель полиуретонового покрытия может прореагировать (например, растворить) с акриловым покрытием и привести к расслоению в данном месте.

10.4 Аспекты, касающиеся окружающей среды, здоровья и безопасности при ремонте и повторной обработке

Любые ремонтные и восстановительные работы вызывают у пользователей беспокойство относительно здоровья и безопасности. Самое

распространенное вредоносное воздействие связано с вдыханием химических веществ при зачистке и/или нанесении покрытия, раздражение кожи, порезы или царапины при обращении с абразивными инструментами и средствами, ожоги при работе с режущими инструментами, которые нагреваются. При работе предусмотрено использовать перчатки и другие соответствующие защитные средства. Проконсультируйтесь со своим специалистом, если возможно, по вопросам здоровья и безопасности.

11 СРЕДА КОНЕЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

При выборе конформного покрытия существенный момент связан со средой конечного использования. В зависимости от способа и места использования продукции определяют свойства, которыми должен обладать материал покрытия. Любые покрытия тщательно оцениваются на совместимость со средой конечного использования. Для получения специальных данных, которые не указаны в таблице, можете обратиться к производителю покрытия.

Ниже приведены несколько примеров сред конечного использования.

11.1 Внешняя среда

Если изделие предназначено для использования во внешней среде, а компоновочные узлы не герметизированы, конформные покрытия могут попасть под влияние следующих условий:

11.1.1 Ультрафиолетовое (УФ) излучение

УФ представляет собой электромагнитные лучи с частотой, выходящей за рамки видимого светового спектра. УФ излучение обнаружено в солнечном освещении. Большая часть солнечного света рассеивается атмосферой и лишь небольшую долю представляет видимый свет. Поэтому, даже если на конформное покрытие не попадают прямые солнечные лучи, оно все равно подвергается УФ излучению. Желательно, чтобы при выборе конформного покрытия для изделия, эксплуатирующегося при условиях внешней среды, уделялось внимание устойчивости покрытия к действию УФ излучения.

11.1.2 Влажность

При эксплуатации в условиях внешней среды изделие подвергается разной степени влажности. В климатических зонах с умеренным и теплым климатом 30 – 60% времени сохраняется уровень относительной влажности выше 80%

при атмосферной температуре выше 0^0C. В тропиках влажность обычно выше.

При выборе конформного покрытия желательно выдвигать требование по гидролитической устойчивости и проницаемости соответствующего уровня, ориентируясь на уровень влажности, при котором будет эксплуатироваться изделие.

Более подробную информацию о понятии относительной влажности и времени влажности вы можете найти в Приложении Е.

11.1.3 Газообразные загрязнения

Газообразные загрязнения обычно представлены оксидами азота и серы (NO_x и SO_x), которые являются продуктами реакции сгорания горючих ископаемых. Эти загрязнители образуют многочисленные ионные и гигроскопичные микроскопичные соединения, абсорбирующие влагу и вступающие в реакцию друг с другом, преобразуясь в коррозийные испарения на поверхности покрытия. При выборе конформного покрытия изделия, для которого среда конечного использования может содержать газообразные загрязнения, желательно выдвинуть требования, касающиеся устойчивости к действию газообразных загрязнений и азот и серосодержащих кислот.

Для получения более подробной информации смотрите Приложение Н.

11.1.4 Озон

Озон является очень реакционно способным газом. При контакте с другими веществами имеет короткий срок ожидаемой стойкости. Может реагировать со многими органическими веществами, включая полимеры и эластомеры. Многие полимеры (например, конформные покрытия) содержат добавки для предотвращения непосредственного контакта с озоном. Если высока вероятность того, что компоновочный узел с конформным покрытием может подвергнуться воздействию озона при эксплуатации во внешней среде, вместе с производителем покрытия проверьте устойчивость к действию озона. В условиях влажности органические соединения и другие реакционные газы, соединяясь с озоном, могут инициировать разнообразные химические реакции. Некоторые из них могут привести к разрыву полимерных цепочек или поперечных связей.

11.1.5 Кислотный дождь

Кислотный дождь является побочным продуктом возгорания промышленных отходов и других летучих органических соединений, выделяющихся в атмосферу. Под действием влажных условий и УФ излучения начинается целая серия химических реакций с этими газами. Основными кислотными составляющими кислотного дождя являются: озон, сульфаты и нитраты (pH<5.0).

Поскольку количество кислоты зависит от воздействия УФ, влаги и теплой температуры, количество образующейся кислоты в летнее время больше по сравнению с зимой. Чем продолжительнее и больше количество осадков, тем меньше кислоты они в себе содержат, поскольку она вымывается и удаляется из воздуха. Сильнокислотными также могут быть туманы, моросящие дожди, дымовые завесы.

Если среда конечного использования может содержать газообразные загрязнения и кислотные дожди, то при выборе конформного покрытия желательно выдвинуть требование относительно устойчивости к коррозии, особенно к действию азот и серосодержащих кислот.

11.1.6 Морская и прибрежная среда

Среда населенного побережья способна причинить ущерб электронным схемам. Антропогенные загрязнители совместно со взвесями морской соли и высоким уровнем влажности способны образовать сильно проводящую и кислотную атмосферу. Такие низкие показатели pH = 1.7 были получены в условиях тумана в южной Калифорнии.

Аэрозоли и другие частицы, содержащиеся в воздухе, можно подразделить на четыре категории: органические кислоты, морские основания, сажистый углерод, неорганические соли. Все эти частицы могут стать протонами, абсорбировать влагу и в дальнейшем соединяться или вступать в реакцию с другими частицами.

При выборе конформных покрытий, наносимых в морской и прибрежной среде, следует соблюдать требования относительно: гидролитической стабильности, низкой проницаемости, кислотной устойчивости и устойчивости к умеренному абразивному воздействию.

За более подробной информацией по влажности обращайтесь к 11.1.2, а по частицам в атмосфере к Приложению G.

11.1.6.1 Соленая вода

Соляной туман и взвеси кристаллов могут повредить незащищенные схемы и вызвать коррозию металлов в схеме. Влияние коррозии можно значительно снизить на расстоянии 3.2 – 8.1 км от побережья вглубь суши. Присутствие микроскопического количества соли может обуславливать прерывистый режим работы, зависящий от температуры и влажности. Влажная среда обеспечивает водные прослойки, необходимые для химических реакций на покрытиях и схемах.

11.1.6.2 Чистая вода

В чистой воде по сравнению с соленой количество взвесей (включая соль) значительно меньше (11.1.6.1). Тем не менее, из-за высокой влажности могут образовываться водные прослойки.

11.2 Автомобильная отрасль

Электронные приборы, предназначенные для применения в автомобильной отрасли, подвергаются жестким условиям эксплуатации. Они подвергаются воздействиям температур экстремальных значений, топлива различных типов, случайных вибраций.

Условия эксплуатации автомобилей обычно классифицируются по температуре. В таблице 11-1 представлены основные классификации по температуре, принятые в автомобильной отрасли. Самый низкий температурный предел в автомобильной отрасли – 40^0C.

Помимо требований к различным термическим характеристикам, включая воспламеняемость, в автомобильной отрасли согласно температурной классификации главным требованием является устойчивость по отношению к топливу и моторным жидкостям. К компоновочным узлам, расположенным рядом с подвижными механизмами и в двигательном отсеке предъявляется требование по устойчивости к абразивному воздействию, в некоторых случаях предъявляется требование по эластичности. При эксплуатации на открытом воздухе предъявляется требование к УФ устойчивости, гидролитической стабильности и низкой влагопроницаемости.

11.3 Авиационная отрасль

Обычные требования к конформным покрытиям в авиационной отрасли включают: устойчивость к действию топлива и моторным жидкостям, низкая возгораемость и проницаемость, хорошая термическая и гидролитическая устойчивость. Особые требования могут включать устойчивость к действию абразива, отсутствие газовыделения, в зависимости от условий

использования. Есть несколько отличительных признаков условий авиационной отрасли, рассматриваемых отдельно.

11.3.1 Летательный аппарат вне режима полета

Кривая температур внешней среды может располагаться в диапазоне -46^{0}С-+79^{0}С. Любая влажная пленка, собранная на поверхности, будет подвергаться действию загрязняющих веществ, находящихся в воздухе, и веществ, оседающих на поверхность компоновочного узла.

В результате очистки и технического обслуживания ЛА образуются многочисленные загрязняющие вещества от испарений, разлитых жидкостей и протечек. Источниками могут служить очищающие растворы, пары топлива, гидравлические жидкости, противокоррозийные спреи, растворители, пары краски и жидкость для снятия краски.

11.3.2 Оборудование, находящееся вне герметизированного отсека при эксплуатации

Во время эксплуатации данного оборудования возникают следующие изменения:

- Изменение температуры с +79^{0}С на земле до -51^{0}С на высоте.
- Высокая влажность на земле и очень морозные условия на высоте.
- 724 торр на земле и 52 торр на высоте.

При этих условиях может образоваться конденсат, особенно при снижении, потому что на высоте оборудование работало в замороженном состоянии. Частая смена температуры и давления может повлиять на силу проникновения и поглощение паров загрязняющих веществ.

11.3.3 Оборудование, находящееся в герметизированном отсеке при эксплуатации

В жаркие летние месяцы может возникнуть внезапная смена температуры 20^{0}С/сек или более при включенной системе кондиционирования воздуха ЛА. При столкновении этого холодного воздуха с теплым влажным окружающим воздухом возникает конденсационный поток. В холодную погоду может возникнуть обратное явление, за исключением конденсата, который может образоваться на узлах, в зависимости от влажности теплого воздуха. Может возникнуть смена давления с 724 торр примерно до 362 торр.

Загрязняющие частицы, присутствующие в воздухе, постепенно накапливаются на поверхности компоновочного узла. Любой конденсат, политая жидкость или утечка могут представлять потенциальную угрозу для компоновочного узла.

11.4 Космос

В космическом пространстве существует множество источников излучения – геомагнитно захваченное корпускулярное излучение пояса Ван Аллена, авроральная радиация, космическая радиация и солнечные вспышки. Большая часть экспериментов по излучению проводилась в условиях окружающей атмосферы, но принято считать, что излучение в условиях вакуума не настолько жесткое из-за отсутствия кислорода и нет такого разрушающего воздействия на полимерные цепочки.

Помимо устойчивости к радиации, при выборе конформного покрытия для эксплуатации в космосе желательно выбирать такие, которые не будут выделять газ в вакуумных условиях. Особые требования зависят от условий эксплуатации компоновочных узлов; обычно ожидается высокая степень надежности.

С.45 Таблица 11-1 Общая температурная классификация в автомобильной отрасли

класс	Место нанесения	Верхний температурный предел
1	Пассажирский отсек	85^0C
2	Прямые солнечные лучи	105^0C
3	Двигательный отсек	125^0C
4	На двигателе, внутри трансмиссии	150^0C
5	Тормозная система Выхлопной коллектор	175^0C 205^0C

11.5 Медицина

В больничных условиях конформные покрытия могут находиться в контакте с биологическими жидкостями, подвергаться облучению и средствам стерилизации в широком температурном диапазоне. Для некоторых медицинских приборов может потребоваться очень тонкая изоляция и допуск на размер. Особую категорию составляют медицинские приборы,

имплантированные в полость тела на длительное время и находящиеся в непосредственном контакте с биологическими жидкостями и тканями, поэтому к покрытиям таких приборов предъявляется требование двусторонней совместимости.

Полипараксилеленовые (париленовые) покрытия часто используются в приборах, одобренных Управлением по контролю за продуктами и медикаментами для подобного использования в медицинских целях. Более подробную информацию о материале покрытий, используемых в медицинских целях, смотрите приложение J.

11.6 Геотермальные условия

Индустрия геотермальной разведки требует защиты электронных приборов при наличии наклонных скважин. Такие условия могут включать высокую температуру 220^{0}C, высокую влажность (100%), соленую воду, сырую нефть, природный газ, соединения серы, едкие растворы с высоким уровнем pH и др.

Желательно, чтобы конформные покрытия приборов, предназначенных для эксплуатации в геотермальных условиях, обладали устойчивостью к действию углеводородов, кислот и щелочей, слабой проницаемостью для газов и жидкостей, температурной устойчивостью в широком диапазоне температур и износостойкостью в зависимости от прибора.

11.7 Условия ядерной биологической химической войны

ЯБХ (ядерное биологическое химическое оружие) включает крайне агрессивные боевые вещества. Покрытие должно обеспечивать защиту против таких веществ и дезактивирующих средств. Дезактивирующие средства, такие как DS2, могут быть гораздо агрессивнее самих боевых веществ. Самыми распространенными средствами защиты являются противогаз и передатчик.

Условия ЯБХ подразумевают наличие конформного покрытия с низкой проницаемостью для газов, устойчивостью к радиации и специфичными химическими веществами. В таких случаях может потребоваться использование системы нескольких покрытий для обеспечения необходимой защиты.

Об устойчивости к радиации и совместимости химических веществ вы можете прочитать в 9.15.

12 ДОЛГОСРОЧНАЯ НАДЕЖНОСТЬ И ПРОВЕРКА

Долгосрочная надежность и проверка конформных покрытий печатных плат компоновочных узлов иногда определяется как срок с момента нанесения покрытия на компоновочный узел, которое обеспечивает постоянные бесперебойные электрические/функциональные качества на протяжении всего срока эксплуатации в предусмотренных рабочих условиях. В зависимости от типа производства существуют несколько способов определения или представления долгосрочной надежности и проверки на надежность. Несмотря на определение, самым главным общим параметром является отрезок времени с момента нанесения покрытия до первого повреждения.

Долгосрочная надежность покрытия зависит не только от материала покрытия, но и от сочетания таких факторов, как сборочные процессы, тип компоновочного узла, условия среды и продолжительность воздействия рабочими условиями. Чтобы в полной мере ответить на данный вопрос, необходимо учесть требования, которые предусмотрены договором (надежность и срок), тип класса и стоимость изделия.

12.1 Механизм возникновения повреждения

Повреждение компоновочного узла может быть связано с физическими повреждениями или дефектами конформного покрытия на протяжении срока эксплуатации в предназначенных рабочих условиях. Повреждение покрытия может быть связано с выбором такого типа покрытия, который не соответствует назначению и рабочим условиям, либо при неправильном нанесении покрытия. При несоблюдении условий нанесения и отвердевания покрытия, можно получить пленку, которая не будет обладать всеми желаемыми свойствами. Даже при отсутствии видимых повреждений при осмотре, долгосрочная надежность компоновочного узла останется под вопросом.

С другой стороны, повреждения конформного покрытия могут также указывать на загрязнение или дефекты на паяльной маске или основании. При анализе повреждения необходимо произвести оценку механизма возникновения повреждения конформного покрытия и условия всего компоновочного узла.

12.1.1 Износ/абразивное истирание

Несоблюдение условий эксплуатации, хранения или транспортировки может привести к нежелательному контакту с покрытой поверхностью. В результате на поверхности могут образоваться царапины, соскобы, выбоины, морщины и другие повреждения, которые могут стать центром сосредоточения напряжения или местом проникновения загрязнений. В случае покрытий на базе фторуглерода и перфторэфира, значительная часть покрытия удаляется.

Разрушение покрытия может указывать и на производственный дефект. Следует сделать соответствующие указания по разработке для предотвращения контакта покрытия с другими деталями узла, такими как проводка, корпуса, место присоединения аппаратуры или другими подвижными деталями. При неконтролируемом воздушном потоке система внутреннего охлаждения может создать проблемы в виде эффекта Вентури. В таком случае высокоскоростной воздушный поток может вызвать эрозию покрытия из-за содержащихся в нем частиц пыли.

12.1.2 Помутнение/обесцвечивание

В большинстве случаев требуется, чтобы под покрытием оставались видимыми маркировочная надпись, штрих-код, идентификационный номер компонента, номер детали и др. Помутнение и обесцвечивание может быть вызвано чрезмерным количеством пыльных и других частиц в воздухе, на самом клее, УФ излучением, высокой температурой и/или воздействием серы или других химических реагентов. В некоторых случаях темное (окрашенное) покрытие может сослужить пользу при преследовании целей безопасности.

12.1.3 Образование трещин

Есть несколько причин образования трещин. Наличие трещин может сократить срок эксплуатации покрытия. Причиной тому является проникновение через трещину загрязняющих веществ и является нарушением целостности покрытия, местоположение, длину и глубину образовавшейся трещины оценивают способом, аналогичным с пузырями (13.1.5). Большинство покрытий – настоящие термопластики, поэтому трещины, образующиеся при низких температурах, исчезают с повышением температуры. Даже сквозь трещины, которые больше невидимы, сквозь разрывы полимерной цепочки загрязняющие вещества могут проникать внутрь.

12.1.4 Потеря клейкости

На клейкость конформных покрытий к компоновочным узлам влияют несколько факторов: чистота, совместимость покрытия с другими интерфейсными материалами, влагопроницаемость, степень отверждения. При проникновении влаги в зону между покрытием и основанием возникает разница в давлении пара. Смена температуры, а затем и давления приводит к возникновению осмотического давления и сил, из-за которых покрытие отслаивается с поверхности. Подобные отслоения характерны для покрытий, наносимых на металлические детали, так как при наличии загрязнений на металлической поверхности могут образовываться кислоты.

Клейкие свойства важны для показателей конечного изделия и его назначения. Если конформное покрытие не полностью приклеено к поверхности компоновочного узла, то оно не обеспечивает необходимой защиты. Нетщательно выполненное наклеивание может привести к образованию вздутий, отслаиванию, растрескиванию, крошению и образованию крупных пор в покрытии, особенно в условиях колебания температуры и влажности. Риск снижения клейкости усиливается при потере эластичности конформного покрытия под действием механического натяжения.

Требования по клейкости определены соглашением между производителем покрытия, специалистом по его нанесению и конечным пользователем. Последние два участника должны определить степень клейкости для функционирующего компоновочного узла и какое испытание(я), если таковые имеются, следует провести для определения полученной клейкости и ее сохранения при созданных необходимых условиях среды.

Конформные покрытия можно протестировать на клейкость с помощью метода B ASTM 3359. Для некоторых типов покрытий этот тест может не подойти.

12.1.5 Пузырение

Наличие пузырей в конформном покрытии является результатом проникновения воздуха, дегазации и использования методов смешивания и/или нанесения. В некоторых случаях этого явления нельзя избежать. Пузырение обычно происходит, когда размер пузыря на 50% меньше расстояния между проводниками, и он не контактирует с проводником, краем контактной площадки или поверхностью соседнего проводника.

12.1.6 Вспучивание поверхности

Вспучивание поверхности обычно предшествует отслоению лишь с одной небольшой разницей. Может возникнуть в покрытии и на границе раздела покрытия и поверхности. Образование вспучивания в поверхности обычно приводит к образованию в ней дыры или кома. В любом случае вспучивание представляет серьезную проблему, которую необходимо решать немедленно. Вспучивание является результатом тех же процессов, которые приводят и к отслоению.

12.1.7 Крошение

Может быть формой отслоения, вспучивания и/или потери клейкости, которая обычно широко распространена и может повторять неровности поверхности или брать начало на краю основания. Это явление иногда ошибочно называют «ноздреватость» из-за наличия больших участков отслоений.

12.1.8 Обугливание

Обугливание обычно возникает в результате перегрева, хотя причиной может стать и сильная химическая реакция. Вторичная обработка с использованием пайки, чрезмерного воздействия УФ излучения, коронирующего разряда, окисления и перегрева компонента являются основными причинами возникновения данной проблемы. Обугленное покрытие следует заменить из-за того, что в материал покрытия проникают различные загрязнители, включая углерод, которые вызывают повреждения полимерной цепочки.

12.1.9 Разрушение

Основной проблемой материала покрытия является изнашивание под действием разных условий эксплуатационных сред. Это сочетание температуры, влажности, химических веществ, абразивного воздействия и вибрации. Покрытие может выдержать конкретное количество абразивного воздействия среды до того, как начнут возникать серьезные сбои в функционировании схемы. Природа и величина негативного воздействия варьируются для каждого типа покрытий. Конечный результат может быть разным для каждой из схем.

12.1.10 Химическое воздействие

Целостность конформного покрытия может быть нарушена несовместимостью химических веществ рабочей среды и среды конечного использования. Некоторые химические вещества вступают в бурную реакцию с покрытием, сразу вызывая повреждения не только покрытия, но и

компоновочного узла, либо оставляют узел без защитного покрытия, открытым для негативного воздействия других условий. Некоторые химические вещества могут проникать в покрытие и постепенно изменять основание полимеров, оставляя его в ослабленном состоянии, предрасположенными для термических и механических повреждений.

12.2 Ускоренные испытания

В основном долгосрочная надежность не может быть определена для условий реального времени. Оценку долгосрочной надежности обычно проводят с помощью условий среды ускоренных испытаний и большого числа циклов выносливости, после чего покрытие проверяют физическими методами, используя различные аналитические диагностические технологии. Целостность покрытия будет оценена визуальным осмотром и с помощью микроскопа, а также электрическими измерениями до, во время и/или после воздействия разряда. Уже по одному отказу электрооборудования можно судить о нарушении целостности покрытия или потери клейкости. Такой способ иногда называют ускоренным испытанием. Полученные таким образом данные являются эмпирическими и представляют собой специфическую характеристику для конкретного покрытия и типа компоновочного узла, подвергшиеся оценке.

Ускоренные испытания срока службы на базе ожидаемых условий среды конечного использования, проведенные на опытных образцах платы и серийных образцах, могут продемонстрировать долгосрочную надежность. Испытания на надежность могут помочь определить вероятность возникновения повреждений при эксплуатации, но не являются реальным сроком службы изделия.

12.2.1 Параметры испытания

К сожалению, существуют некоторые затруднения с утверждением параметров ускоренных испытаний. Часто трудно получить точные значения коэффициентов ускорения между сериями напряженных состояний (например, колебания температуры от 0 до 100) и средним временем между возникновением повреждений (MTBF). Пользователь может использовать многие средства и модели статистического анализа для согласования повреждений в испытательной камере для оценки вероятности возникновения повреждений в электрическом поле.

Комплекс совместных реакций, протекающих в электрическом поле, сложно воспроизвести в испытательной камере. Следовательно, самой лучшей

методологией считается та, которая ближе всего к реальным условиям среды конечного использования. Например, план ускоренных испытаний на изнашивание для компоновочного узла, который располагается под капотом автомобиля, должен включать температурные условия (как часть температурных колебаний или термообработка при высокой температуре) и вибрации. В то время как электронные изделия, устанавливаемые в офисах, не нуждаются в температурных и виброиспытаниях.

12.2.2 Примеры испытаний

Надежность покрытия компоновочного узла можно проверить с помощью различных испытаний. Не все компоновочные узлы нуждаются в испытаниях на все условия. Ниже дается примерный список условий испытаний. Имеются некоторые стандарты, которыми можно воспользоваться для определения комплекса испытательных условий и параметров (например, JEDEC, IPC, ASTM и др.).

- Температурные испытания и испытания на влагостойкость.
- Циклическое температурное воздействие.
- Тепловой удар (при столкновении жидкостей и воздушных масс).
- Сильно ускоренное испытание на напряжение.
- Сильно ускоренное испытание на срок службы.
- Виброиспытания.
- Стойкость к самозатуманиванию.
- Срок службы при высокой температуре.
- Влагостойкость и сопротивление изоляции.
- Электрическая прочность диэлектрика.
- Эластичность.
- Химическая стойкость.
- Влажная серная среда.
- Смешанный газовый поток.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Руководство по сравнению конформных покрытий

А-1 Из за различий состава конформных покрытий рабочая группа по составлению справочника по конформным покрытиям IPC встретила некоторые затруднения при составлении простого, ясного и удобного для пользователя руководства по выбору покрытий. Характеристики на базе типа общего химического состава может неточно отражать возможности каждого подтипа. Характеристика каждого подтипа может быть невозможна без выявления отдельных коммерческих изделий; кроме того, это может сделать руководство слишком громоздким и неудобным для использования. Было найдено решение составить перечень из 5 свойств покрытия для каждого из типов и 5 отрицательных характеристик для каждого подтипа, отличающегося механизмом отверждения. Сравнение носит общий характер.

5 свойств покрытия	**5 отрицательных характеристик покрытий с отверждением**
акрилового типа • Легкость повторной обработки • Несложный процесс сушки • Хорошая влагостойкость • Высокий уровень флюоресценции • Простая настройка вязкости	**при испарении растворителя** • Высокий потенциал ЛОС • Сложная настройка вязкости • Требует усиленного мониторинга концентрации растворителя, поэтому создан сценарий из двух частей • Легкая воспламеняемость • Высокая вероятность обратной реакции при условиях повышенной температуры и влажности
	при нагревании • Отверждение зависит от толщины • Масса компонента влияет на время и температуру процесса отверждения • Возможно замедление процесса отверждения

	• Усадка (3-10%), потенциальная угроза для хрупких (например, стеклянных) компонентов • Следует соблюдать предосторожность для компонентов с низкой рабочей температурой
	при УФ излучении • Неполное отверждение на затененных участках • резкий запах, потенциальный риск повреждения кожных покровов • При повышенной температуре может стать очень хрупким • Затруднена повторная обработка • Зависит от типа и интенсивности УФ излучения

5 свойств покрытия	**5 отрицательных характеристик покрытий с отверждением**
Эпоксидного типа • Применяется вплоть до 150^0C • Сильнейший твердомер, износостойкость • КТР близкий к эпоксидному основанию ПП • Более высокий показатель T_g • Хорошие диэлектрические свойства	**при испарении растворителя** • Высокий потенциал загрязнения хлористыми веществами • Интенсивный процесс, настройка вязкости затруднена, смешанный коэффициент перемешивания • Потенциальная угроза возникновения высокого напряжения при условиях циклирования температуры • Затруднена повторная обработка • Высокая вероятность обратной реакции в условиях повышенной температуры и влажности
	при нагревании

	• Отверждение зависит от толщины • Масса компонента влияет на время и температуру процесса отверждения • Качество селективного покрытия может пострадать • Усадка (3-10%), потенциальная угроза для хрупких (например, стеклянных) компонентов • Следует соблюдать предосторожность для компонентов с низкой рабочей температурой
	при УФ излучении • Неполное отверждение на затененных участках • резкий запах, потенциальный риск повреждения кожных покровов • При повышенной температуре может стать очень хрупким • Затруднена повторная обработка • Зависит от типа и интенсивности УФ излучения
	при катализе • Замедление процесса отверждения • Короткий срок службы • Чувствительность к загрязнению • Затруднена повторная обработка • Резкий запах

5 свойств покрытия	**5 отрицательных характеристик покрытий с отверждением**
полиуретанового типа • Хорошие диэлектрические свойства	**при испарении растворителя** • Влажность влияет на скорость отверждения и требуемые

• Хорошая влагостойкость • Устойчивость к действию растворителя • Низкая вероятность обратной реакции • износостойкость	свойства • Полное отверждение занимает много времени (до 30 дней) • Потенциальная угроза возникновения высокого напряжения при условиях циклирования температуры • Высокая вероятность обратной реакции в условиях повышенной температуры и влажности
	при нагревании • Отверждение зависит от толщины • Масса компонента влияет на время и температуру процесса отверждения • Высокий потенциал образования ЛОС • Бурная реакция в присутствии воды • Следует соблюдать предосторожность для компонентов с низкой рабочей температурой
	при УФ излучении • Неполное отверждение на затененных участках • Резкий запах, потенциальный риск повреждения кожных покровов • При повышенной температуре может стать очень хрупким • Затруднена повторная обработка • Зависит от типа и интенсивности УФ излучения

5 свойств покрытия	**5 отрицательных характеристик покрытий с отверждением**
Силиконового типа	**при комнатной температуре**

• Устойчивость в широком диапазоне температур (обычно от -40^{0}C до 200^{0}C) • Эластичность, обеспечивающая защиту от ударов и демпфирование • Хорошая устойчивость к влажности, УФ/солнечному излучению • Высокая диэлектрическая прочность • Низкая поверхностная энергия способствует проницаемости под компонент	• Требует наличие влаги (как минимум 20%), непостоянная устойчивость к действию растворителя • Низкая износостойкость • Короткий срок службы • КТР =300-350ppм/^{0}C • При неправильном обращении возникает угроза взаимного загрязнения
	при УФ излучении • Неполное отверждение на затененных участках • Потенциальный риск повреждения кожных покровов • Низкая износостойкость • Непостоянная устойчивость к действию растворителя • При неправильном обращении возникает угроза взаимного загрязнения
	при катализе • Низкая износостойкость • Вероятность замедления процесса отверждения • Возможны затруднения с наклеиванием • Непостоянная устойчивость к действию растворителя • При неправильном обращении возникает угроза взаимного загрязнения

5 свойств покрытия	**5 отрицательных характеристик покрытий с отверждением**
Полипараксилеленового типа C, D, N • Равномерное распределение не зависимо от геометрии детали, отсутствуют точечные	**при полимеризации во время вакуумного напыления** • Не поточный процесс, а серийная обработка деталей в вакуумных камерах

отверстия, валики, перемычки • Химическая инертность/барьерные свойства – нерастворимы в органических растворителях, кислотах и основаниях, низкий коэффициент проницаемости • Минимальная дополнительная масса, слабое газовыделение • Совместимость с биологическими материалами допускает использование во многих медицинских приборах • Оказывает слабое воздействие на окружающую среду	• Требует маскирование отдельных участков • Удаление и повторная обработка покрытия обычно требуют специального оборудования, наиболее распространенная технология – абразивная обработка и микровзрывы • Ограниченная устойчивость к УФ излучению и рабочей температуре, около 120^{0}C в присутствии кислорода • Не дает присадку

5 свойств покрытия	**5 отрицательных характеристик покрытий с отверждением**
Фторированных полипараксилеленовых • Равномерное распределение не зависимо от геометрии детали, отсутствуют точечные отверстия, валики, перемычки • Химическая инертность/барьерные свойства – нерастворимы в органических растворителях, кислотах и основаниях, низкий коэффициент проницаемости • Высокая термоустойчивость (450^{0}C) и повышенная устойчивость к УФ излучению • Низкое значение диэлектрической постоянной, 2.28 • Оказывает слабое воздействие на окружающую среду	**при полимеризации во время вакуумного напыления** • Не поточный процесс, а серийная обработка деталей в вакуумных камерах • Требует маскирование отдельных участков • Удаление и повторная обработка покрытия обычно требуют специального оборудования, наиболее распространенная технология – абразивная обработка и микровзрывы • Скорость напыления ниже, чем у обычного полипараксилеленового покрытия • Требует специального оборудования для напыления, которое отличается от такового для напыления полипараксилеленовых

	покрытий C, D, N.

5 свойств покрытия	**5 отрицательных характеристик покрытий с отверждением**
Аморфного фторополимерного типа • Низкая диэлектрическая постоянная • Высокая температура стеклования • Низкая поверхностная энергия • Низкое водопоглощение • Хорошая устойчивость по отношению к растворителям, маслам и простым кислотам	**при осаждении раствора** • Для вспучивания полимера требуются специальные жидкости • Ограниченная растворимость, которая ограничивает толщину пленки • Может потребоваться обжиг при температуре стеклования • Для улучшения клейких свойств может потребоваться специальная обработка поверхности • Плохая устойчивость к действию некоторых кислот и щелочей
	при вакуумном напылении • Требуется давление 10-5 торр ли ниже • Может потребоваться обжиг при температуре стеклования • Для улучшения клейких свойств может потребоваться специальная обработка поверхности • Плохая устойчивость к действию некоторых кислот и щелочей • Низкая износостойкость

Внимание: сильные и слабые свойства гибридных покрытий должны быть на базе составных частей компонентов

ПРИЛОЖЕНИЕ B

Измерение вязкости стаканчиком текучести

B-1 Существует большое число стандартов для измерения вязкости стаканчиком текучести:

В таблице B-1 представлены переводная таблица для некоторых измерений стаканчиком текучести в секундах и вязкости в спуазах

ПРИЛОЖЕНИЕ C

Руководство по поиску и устранению неисправностей

Таблица C-1 – пример подобного руководства из «Тренировочного руководства по поиску и устранению неисправностей EMD», может не подходить для всех изделий. За особыми инструкциями обращайтесь к своему производителю

Таблица C-1 Руководство по поиску и устранению неисправностей

Неисправность	Признаки	Способы устранения
Адгезия (отсутствует)	Потеря адгезии, расслоение, проблема на границе раздела поверхностей (влага/электричество), замедление отверждения	• Устраните любые загрязнения (смотрите ингибирование) • Зачистите/отшлифуйте поверхность детали • Увеличьте продолжительность или температуру отверждения • Используйте вещество для улучшения отверждения • Обработайте поверхность (травлением, огневой обработкой, плазменной обработкой) • Используйте барьерное покрытие • Выберете другую грунтовку/изделие

		• Выберете самогрунтующееся покрытие
Адгезия (нежелательная)	Слипание, проблемы при извлечении из формы, проблемы при снятии пленки	• Используйте антиадгезив • Очистите поверхность детали • Добейтесь полного отверждения • Заморозьте покрытие до высыхания и удалите • Выберите другое изделие
Вовлечение воздуха	Пузыри, поры, коронный/дуговой/электрический разряды, влажность, выделение газа, улетучивание испарений	• Удалите воздух • Используйте вакуумную пропитку • Используйте вещество из новой партии • Устраните все загрязнения, вызывающие газовыделение • Проводите отверждение при более низких температурах • Выберете продукцию с более низкой вязкостью • Выберете продукцию с более длительным сроком службы
Задержка воздуха	Липкая поверхность/не отвердевает, слишком тонкий для отверждения участок, наличие загрязнений в воздухе/печи	• Закройте крышкой или пластиковой пленкой • Проводите отверждение при нагревании • Проводите обжиг не в печи для испарения летучих веществ • Устраните имеющиеся загрязнения
Барьерное покрытие	Задержка веществ присоединительной вулканизации требует защитного слоя на основании	• Используйте чисто акриловое покрытие с аэрозольным распылением • Используйте ускоритель отверждения • Используйте поливиниловый спирт • Используйте грунтовку • Используйте продукцию с разной отверждающейся композицией
Расплывание	Миграция нереакционных веществ (включая силиконы, красители), растекание жидкости, не функционирует	• Избегайте низкой вязкости, нереакционных разбавителей • Дополнительный обжиг до полного отверждения • Избегайте контакта с растворителями • Для фиксации красителя при изготовлении форм выбирайте

	реле выключение/передвижения контактов	разные катализаторы • Выберете продукция с более высокой вязкостью • Выберете продукцию с контролируемым испарением
Побочные продукты	Испарение, коррозия и пузыри на поверхности	• Увеличьте время отверждения • Используйте дополнительный обжиг или этап отверждения • Избегайте задержки продуктов отверждения • Избегайте наложения толстым слоем продуктов конденсата отверждаемой поверхности • Выберете продукцию с контролируемым испарением • Используйте продукцию с разной отверждающейся композицией
Прозрачность	Полупрозрачность, наполнители, загрязнение, несовмстимость	• Проверьте срок годности • Замените веществом из новой партии • Отфильтруйте вещество • Выберете продукцию необходимой прозрачности
Цвет (обесцвечивание)	Загрязнение поверхности, несовместимость, темическое воздействие/окисление, изменение цвета, необходимый цвет	• Смешайте вещество для получения цвета • Используйте краситель или пигменты • Возьмите вещество из новой партии • Устраните имеющиеся загрязнения • Используйте только совместимые материалы • Проводите отверждение при более низкой температуре • Выберете продукцию соответствующего цвета
Сужение	Неполное отверждение, медленное отверждение, обратная реакция	• Увеличьте время отверждения • Выберете вещества присоединительной вулканизации, которые будут способствовать отверждению в сужениях
Загрязнение	Непрозрачное вещество, проблемы с поверхностью или	• Устраните имеющиеся загрязнения • Возьмите вещество из новой партии • Профильтруйте вещество

	адгезией, инородные частицы, медленное отверждение, вызванная влажностью коррозия	• Посмотрите замедление • Посмотрите качество грунтовки
Сжатие/расширение	Коэффициент температурного расширения/сжатия слишком высокий, вздутие поверхности при нагреве, трещины/разделение/ раскалывание при охлаждении, механическое/гидростатическое напряжение при нагреве	• Выберете вещество с более низким КТР • Смешайте с веществом, которое имеет более низкий КТР • Выберете вещество с высоким содержанием наполнителя (с высоким удельным весом) • Проводите отверждение при температуре, средней между периодическими критическими значениями
Коррозия	Поверхностная реакция, загрязнения, отверждение побочных продуктов, влага, поры, проблемы с адгезией	• Выберете некоррозионное отверждающееся вещество • Выберете вещество/грунтовку с максимальной адгезией • Не используйте вещества с кислотными или (окзимы) побочными продуктами • Устраните имеющиеся загрязнения
Образование волосных трещин	Поверхностные трещины, температурное разрушение/окисление, утечка тока, поверхностное сопротивление, электрическое соединение/эл. эрозия, загрязнение/влага, сниженная прочность, неполное отверждение	• Снизьте температуру отверждения • Увеличьте время отверждения или продолжительность нагрева • Выберете вещество более устойчивое к дуговым/скользящим разрядам • Выберете вещество с лучшими показателями растяжения • Выберете вещество с диапазоном более высоких пригодных температур
Отверждение (слишком медленное или неполное)	Длительное время в гелевой структуре, клейкая поверхность, низкий дюрометр,	• Увеличьте количество катализатора • Ускорьте отверждение с помощью нагрева • Используйте ускоритель

	низкие физические свойства, загрязнение, замедление, обратная реакция	отверждения для материала присоединительной вулканизации • Используйте быстро отверждающиеся вещества • Устраните имеющиеся загрязнения • Выберете вещество из двух составляющих • Выберете оловянный катализатор для быстрого отверждения • Смотрите раздел Ингибирование или Обратная реакция
Отверждение (слишком быстрое)	Короткое время в гелевой структуре, быстрый рост вязкости, короткий срок годности, поры/пузыри, плохая пропитка	• Смешайте вещество присоединительной вулканизации с веществом более длительного срока годности • Выберете оловянный катализатор для замедленного отверждения • Уменьшите количество катализатора (до 5%) • Используйте добавку для продления срока годности • Снизьте температуру отверждения • Охладите вещество для хранения • Выберете вещество с более длительным сроком службы
Отверждение (при нагревании)	Неполное отверждение, клейкая поверхность, температурное разрушение	• Проверьте температурный контроль • Проверьте воздушный поток на достаточность • Проводите очистку и обжиг, не допуская проливки вне печи • Используйте невоспламеняющийся растворитель для очистки
Материал перемычек	До отверждения образовались подтеки жидкости, необходимость в герметизация жидкости	• Используйте глину, воск или другой неползучий адгезив/герметик • Используйте только вещества, не вызывающие замедление и коррозию, спиртовые герметики совместно с веществом присоединительной вулканизации
Плотность	Слишком тяжелый материал	• Выберете вещество, имеющее низкий удельный вес • Смешайте с веществом, имеющим более низкий удельный вес

		• Добавьте наполнитель меньшей плотности
Дюрометр (слишком низкое положение)	Материал очень мягкий, клейкая поверхность, неполное отверждение	• Используйте большее количество вулканизирующего агента (часть В) • Смешайте с веществом, имеющим более высокое положение дюрометра • Увеличьте время отверждения • Используйте нагрев для отверждения • Выберете вещество с более высоким положением дюрометра
Дюрометр (слишком высокое положение)	Материал очень твердый, механическое напряжение	• Используйте меньшее количество вулканизирующего агента (часть В) • Смешайте с веществом, имеющим более низкое положение дюрометра • Выберете вещество с более низким положением дюрометра
Наполнители	Необходимость в контроле за потоком, повышена вязкость или прочность, теплопроводность, низкая стоимость	• Рекомендации дает производитель
Воспламеняемость (отверждаемого материала)	Требуется оценка возгораемости	• Выберете материал согласно классификации лаборатории по технике безопасности • Смотрите таблицу данных для этого вещества
Воспламеняемость (неотверждаемого материала)	Низкая температура вспышки	• Используйте вещества с высокой температурой вспышки • Используйте подходящее оборудование с защитой от взрыва с материалами, имеющими низкую температуру вспышки • Смотрите таблицу данных для этого вещества • Смотрите MSDS
Влагостойкость	Нарушение физических свойств, увеличение/разбухание объема	• Выберете фторсиликоновый материал • Выберете материал с более высоким содержанием наполнителя
Застывание (или загустевание)	Сгустки мягкого геля, повышена вязкость,	• Проверьте соотношение и соответствие компонентов смеси • Устраните имеющиеся загрязнения

	загрязнение, преждевременное отверждение, неравномерное отверждение	• Проверьте срок годности • Возьмите материал из новой партии • Выберете вещество с более длительным сроком годности
Проблемы высокого напряжения	Пробой диэлектрика, несоответствующая диэлектрическая прочность, поры/пузыри, утечка тока, дуговой/коронный/скользящий разряды, проблемы с клейкостью	• Используйте вакуумную пропитку • Увеличьте толщину изоляции • Выберете вещество с более высокой диэлектрической и/или адгезивной прочностью
Пропитка	Неполное проникновение/заполнение, поры/пузыри, открытый интерфейс, проблемы высоко напряжения, коронный/дуговой/следящий разряды, пробой диэлектрика	• Используйте разжижитель с более низкой вязкостью • Смешайте с веществом, имеющим боле низкую вязкость • Используйте вакуумную пропитку • Выберете вещество с более низкой вязкостью/более длительным сроком службы
Несовместимость	Отделение веществ, молочный цвет, загрязнение, замедление, проблемы с адгезией	• Проверьте тщательность смешивания • Смешивайте только совместимые вещества • Используйте соответствующую технологию распространения растворителя • Устраните имеющиеся загрязнения • Возьмите вещество из новой партии
Торможение	Неполное отверждение, клейкость, неотвердевшая жидкость, поверхностное торможение, торможение воздушного потока, контактное торможение, загрязнение,	• Кожная аллергическая проба на совместимость • Предварительный обжиг для удаления летучих веществ-ингибиторов • Используйте барьерное покрытие • Смените основание • Используйте ускоритель отверждения для умеренного торможения в веществах присоединительной вулканизации • Выберете вещества для отверждения

	несовместимость материалов, слабая адгезия	при конденсации • Не используйте вещества для присоединительной вулканизации
Утечка тока	Утечка эл. тока, объемное удельное сопротивление, поверхностное сопротивление, проблемы с адгезией, высокий градиент напряжения, загрязнение/влага/коррозия	• Используйте грунтовку • Дополнительное отверждение или нагрев для наилучшего отверждения и адгезии • Используйте более длительное отверждение для однокомпонентоно клея-герметика • Используйте вакуумную пропитку • Очистите основание • Выберете вещество с подходящими электрическими характеристиками, адгезией • Выберете самогрунтовочное покрытие
Низкая температура	Жесткость/замораживание при низкой температуре	• Выберете вещество с диапазоном низких температур, низкой T_g
Окрашивание под мрамор	Плохо перемешанный материал из двух составляющих, наплыв цветов, выпадение некоррозионного осадка однокомпонентного вещества, загрязнение	• Увеличьте время смешивания • Используйте дольше статический смеситель • Проверьте срок годности (некоррозийного однокомпонентного материала) • Устраните имеющиеся загрязнения
Механическое напряжение	Слишком твердый материал, высокий модуль, температурное расширение/сжатие, загустевание при низкой температуре	• Используйте затвердители более низкого уровня (или часть B) для веществ присоединительной вулканизации • Смешайте с другим веществом • Предоставьте пространство для расширения • Выберете вещество с более низким модулем, низким дюрометром, высоким растяжением • Выберете гель-диэлектрик
Точка плавления	При высоких температурах	• Большинство конформных покрытий являются термореактивными

	материал становится мягким	пластмассами
Военная спецификация	Требует определения согласно стандартному индексу для документов, разработанных в МО США/перечню изделий, разрешенных к применению (MIL/QPL)	• Выберете вещество согласно MIL • Для определения статуса QPL смотрите таблицы данных продукции
Влага (избыток)	Загрязнение, помутнение, несовместимость, проблемы с преждевременным отверждением однокомпонентных материалов, газовыделение у веществ присоединительной вулканизации, утечка тока, коррозия	• Устраните имеющиеся загрязнения • Обеспечьте соответствующие условия хранения • Проведите предварительный обжиг основания
Влага (недостаток)	Медленное отверждение в условиях влажности с продуктами конденсата	• Продлите время отверждения • Проводите отверждение при более высоком уровне относительной влажности
Пассивация	Проблемы с чувствительностью поверхности, сверхреакционная поверхность, утечка тока, коррозия на поверхности микроелектронного чипа	• Проведите поверхностную обработку • Обработайте силаном
Срок годности	Рабочее время слишком короткое, преждевременное отверждение, повышенная вязкость	• Выберете продукцию с более длительным сроком годности • Смешайте этот продукт с веществом присоединительной вулканизацйии

		• Используйте замедленный катализатор • Уменьшите количество катализатора • Используйте наполнитель срока годности
Грунтовка	Недостаточное склеивание, утечка тока, проблемы с интерфейсами	• Выберете самогрунтующийся материал • Используйте различные типы грунтовок • Используйте соответствующую технологию нанесения грунтовки • Продлите время отверждения • Проводите отверждение при нагреве
Качество грунтовки	Непрозрачность, осадок, плохая адгезия, загрязнение	• Проверьте срок годности • Избегайте условий избыточного количества влаги • Возьмите материал из новой партии
Защитное покрытие	Защита от влаги/загрязнений, утечка тока, коррозия, механическое повреждение поверхности	• Для макроэлектроники выберете конформное или каучуковое покрытие • Выберете самогрунтующийся материал • Используйте грунтовку
Удаление/вос становление	Замена/починка компонента, восстановление поврежденного материала	• Используйте соответствующий вымывающий агент • Проведите рекомендуемую процедуру
Обратная реакция	Деполимеризация, обратный процесс превращения каучука в жидкость, термическое разрушение	• Сведите к минимуму ограничение двухкомпонентных веществ отверждаемого конденсата • Проведите дополнительный градуированный обжиг • Избегайте высоких температур • Не используйте двукомпонентные спиртовые вещества отверждаемого конденсата • Выберете однокомпонентные вещества или отверждаемые присадки с высокой устойчивостью к обратной реакции
Реология	Усадка/стекание материала,	• Используйте наполнители

	необходимость в контроле потока	• Смешайте с веществом, не дающим усадку • Используйте частичное отверждение (Стадия B) • Выберете вещество, не дающее усадку
Высыхание	Отделение жидкостного наполнителя	• Тщательно смешайте перед использованием • Проверьте срок годности • Выберете вещество повышенной вязкости
Срок годности	Преждевременное отверждение, высыхание, образование геля, изменение цвета, имитация под мрамор, помутнение, выпадение осадка	• Проверьте срок годности • Протестируйте материал, если срок годности вызывает сомнения • Выберете продукт с более длительным сроком годности • Замените на материал из новой партии
Дисперсия растворителя	Материал слишком густой/вязкий, требуется пропитка растворителем, неравномерное намокание	• Используйте соответствующую технологию рассеивания растворителя • Используйте подходящий разжижитель • Выберете продукт дисперсии растворителя или канифоль/лак
Износ	Изнашивание/расслаивание, неподходящая механическая защита	• Выберете материал с высокой износостойкостью • Смешайте с материалом с высокой износостойкостью
Термическое разрушение (окисление)	Охрупчивание/образование волосных трещин/растрескивание, увеличены показатели дюрометра,мснижена растяжимость материала, потеря веса/сужение, изменение цвета	• Выберете продукт, устойчивый к действию высоких температур или продукт с отвердевающими присадками
Термическое разрушение (обратная реакция)	Деполимеризация, размягчение/падение дюрометра, повышенная	• Выберете продукт, устойчивый к действию высоких температур или продукт с отверждаемыми присадками

	растяжимость, обратная реакция превращения в жидкость	
Вязкость (слишком низкая)	Слишком быстрое растекание материала, капание, утечка материала до отверждения	• Выберете продукт с большей вязкостью или быстрее отверждаемый • Смешайте с продуктом, имеющим большую вязкость • Добавьте наполнители
Вязкость (слишком высокая)	Материал очень густой, не растекается, слабо впитывается, пузыри, поры	• Выберете продукт с более низкой вязкостью • Смешайте с менее вязким продуктом • Используйте разжижитель • Используйте дисперсию растворителя
Потеря веса	Улетучивание веществ, отверждение побочных продуктов, потеря растворителя,термическое разрушение, деполимеризация, сужение	• Выберете отверждаемые присадки или продукт с контролируемым испарением • Проведите предварительный обжиг или этап отверждения

ПРИЛОЖЕНИЕ D

Температурные анализы

D-1 Температура стеклования (T_g)

Температура стеклования – температура, при которой происходит обмен аморфными полимерами между суперохлажденной жидкостью и твердым стекловидным веществом, смотрите таблицы D-1 и D-2. В результате аморфные полимеры проявляют физические свойства, которые в корне отличаются от свойств, которыми обладает материал при температуре выше и ниже названной. Температура стеклования напрямую зависит от скорости смены температур при переходе от одной фазы к другой.

Таблица D-1 Молекулярный уровень

В стеклообразном состоянии ($T< T_g$)	Температура стеклования ($T=T_g$)	Аморфное состояние ($T>T_g$)
• Небольшой радиус движения молекул • Движение атомов направлено в противоположную сторону от дополнительных связывающих сил	• Появление жидкости подобно движению длинных молекулярных сегментов • Требуется больше свободного объема	• Большой радиус движения молекул • Максимальный свободный объем

Таблица D-1 Методы проведения измерений

Измерения объемных свойств	Движение молекул	Температурные испытания
• Коэффициент объемного расширения • Теплосодержание • Коэффициент преломления • Жесткость • Дилатометрия	• Диэлектрические потери • Спектроскопия ЯМР	• Термомеханический анализ • Динамомеханически1 анализ • Дифференциальная сканирующая калориметрия • Столкновение

		•Возникновение хрупкости •Размягчение (аморфные полимеры)

D-2 Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК)

Дифференциальная сканирующая калориметрия – это способ определения T_g покрытия. С помощью ДСК определяют количество тепла и температуру передачи, например, количество энергии, которое поглощает или выделяет образец по мере нагрева, охлаждения или количество удерживаемой энергии при постоянной температуре благодаря таким термодинамическим явлениям, как плавление или кристаллизация. С помощью ДСК можно определить такие показатели, как: температуру стеклования, температуру плавления, теплоту плавления, степень отверждения, температуру кристаллизации.

D-3 Термомеханический анализ (ТМА)

Термомеханический анализ (ТМА) – это способ определения коэффициента теплового расширения. Данный анализ позволяет определить КТР и T_g.

D-4 Динамомеханический анализ (ДМА)

Динамомеханический анализ – это способ определения КТР и T_g. Показатели ДМА механических свойств (вязкоэластичности) полимерных материалов изменяются как функции температуры, времени, частоты, напряжения или комплекса этих параметров. Можно проводить измерения пленочного, волокнистого и сыпучего материала. ДМА часто проводят в режиме постоянной силы для проведения испытания ТМА. ДМА позволяет определить такие свойства, как модуль эластичности, модуль изгиба, отношение Пуассона, T_g, КТР, ползучесть/восстановление, точку загустевания, смещение нагрева.

D-5 Термический гравиметрический анализ (ТГА)

Термический гравиметрический анализ (ТГА) – это способ определения потери веса по функции температуры. ТГА позволяет определить такие

показатели, как температуру разложения, содержание летучих веществ, содержание наполнителя.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Относительная влажность

Е-1 Относительная влажность – это соотношение, для лучшего понимания которого необходимо знать количество молекул. 50% относительной влажности и 25^{0}С соответствуют примерно 4 x 10^{17} молекулам воды на см^3.

По мере увеличения уровня влажности, в атмосфере начинают формироваться микроскопические капли воды (этот процесс также известен как нуклеация). Это может произойти и при 40% относительной влажности. Эти капли соединяются с загрязняющими частицами, образуя в воздухе кислотные взвеси. Специалисты из Управления по охране окружающей среды США определили, что в половине случаев туман в теплые влажные летнее дни на северо-востоке США вызван этими кислотными взвесями. Влага также играет очень важную роль в химическом составе частиц.

Е-2 За критический уровень относительной влажности принято считать температуру и уровень влажности, при которых материал начинает поглощать водяные пары из воздуха. Поскольку сухое осаждение загрязняющих частиц на поверхности носит комплексный характер, нет установки, определяющей вероятность этого процесса. Это возможно только для изолированных местоположений с поглощением водяного пара при 20% относительной влажности и 25^{0}С. Такие случайные явления могут привести к возникновению временных, очевидно, не связанных сбоев в электрическом поле. Влага, осаждаемая на поверхности материала, остается там длительное время, несмотря на теплый сухой воздух.

Уровень относительной влажности должен падать ниже критического значения (от 20 до 30%) до полного испарения влаги. Например, для полного обезвоживания частиц NaCl уровень относительной влажности должен упасть до 43%. В таблице Е-1 приведены другие примеры.

Таблица Е-1 критический уровень относительной влажности (КОВ) для некоторых неорганических соединений

ПРИЛОЖЕНИЕ F

Период влажности

F-1 Согласно техническим характеристикам ISO 9223 за «период влажности» приняты условия относительной влажности ≥80% при температуре выше 0^0C. Шведский институт по проблемам коррозии позднее дополнил это определение, создав график времени воздействия, как показано в таблице F-1. Согласно этой классификации в климатических зонах с теплым и влажным климатом, уровень относительной влажности окружающей среды выше 80% при температуре выше 0^0C продолжается 30-60% времени. В тропиках уровень влажности обычно выше.

«Влажность» означает образование тонкой водяной пленки на поверхностях. Основанием для выбора уровня относительной влажности 80% было то обстоятельство, что толщина водяной пленки достигает толщины 5 молекул на чистой гладкой поверхности. По достижении такой толщины пленка становится реакционно способной как вода. Тонкая пленка толщиной в 5 молекул может образоваться и при 60% влажности на шероховатой и/или неочищенной поверхности.

Таблица F-1 Период влажности

	Часов/лет	% от года	Пример
t_1			Комнатный воздух с климат. контролем
t_2			Комнатный воздух в обычной комнате в условиях проживания и работы
t_3			Комнатный воздух в помещениях для хранения
t_4			Комнатный воздух в некоторых производственных помещениях. Воздух открытого пространства в зонах с холодным, сухим и частично умеренным климатом
t_5			Воздух открытого пространства с умеренным и частично теплым климатом. Комнатный воздух в жилищах животных
t_6			Воздух открытого пространства с тропическим климатом. Комнатный воздух в парнике

ПРИЛОЖЕНИЕ G

Атмосферные частицы

G-1 Субмикронные частицы являются третьим и заключительным этапом жизненного цикла химических веществ, являющихся частью промышленных отходов. На первом этапе образуются газообразные реактивные соединения, которые на втором этапе преобразуются в жидкие кислоты. Все эти этапы представляют угрозу надежности схем. Выбор покрытия, способного противостоять негативному воздействию окружающей среды, просто необходим. Два доклада, представленных в октябре 1999г. на международной встрече электрохимического общества в Гонолулу, предоставили прекрасный обзор проблем, связанных с субмикронным загрязнением: «Надежность электронных средств в жестких внешних условиях: утечка тока и коррозия, вызванные гигроскопичными загрязняющими частицами» Р.Б.Комиззоли, Р.П.Франкентала и др.

G-2 Во многих уголках мира битуминозный уголь является основным энергетическим ресурсом. Продукты горения такого угля, диоксиды серы, окисляясь в атмосфере, образуют серные кислоты и другие окисленные серосодержащие молекулы. При загрязнении электронного оборудования этими частицами при наличии атмосферной влаги возникают сбои в работе электрооборудования, вызванные утечкой тока и дуговым разрядом в электрическом поле.

G-3 Самыми важными компонентами окружающей среды в плане разрушения электронных приборов являются частицы и водяной пар. Большая часть твердых частиц, содержащихся в атмосфере, представляет бимодальное распределение. Частицы 2.5-15 м в большей степени образуются из природных материалов и обычно называются грубыми частицами, тогда как частицы размером 0.1-2.5 м обычно называют тонкодисперсными, антропогенного происхождения. Сочетание грубых и тонкодисперсных частиц в в общей атмосферной массе часто называют общим количеством взвесей (ОКВ). В США обычный уровень ОКВ в открытом воздухе составляет 30-40 $\mu g/m^3$, и 5 $\mu g/m^3$ в закрытом помещении. Обычный уровень сульфатов 4-6 $\mu g/m^3$ в открытом воздухе и 0.6-0.8 $\mu g/m^3$ в закрытом помещении. В новой работе, опубликованной здесь, уровень ОКВ, превышающий 200 $\mu g/m^3$ был замерен в нескольких уголках Азии. Доля сульфатов в этой массе часто превышала 15 $\mu g/m^3$. Концентрация ОКВ внутри помещения часто превышала 30 $\mu g/m^3$.

G-4 Частицы крупных форм образуются преимущественно в результате абразивных процессов, например, при строительстве или эрозии почвы под действием ветра. Основным источником мелкодисперсных частиц в густонаселенных районах являются продукты горения ископаемого топлива, а также в результате вулканической или геологической активности. Ввиду разного происхождения крупные частицы стремятся к меньшей доле водорастворимых ионных компонентов (5-20%) по сравнению с мелкодисперсными частицами (25-50%), исключая H^+, OH^- и CO_3^{2-}. Для любых частиц коррозивность возрастает с увеличением доли водорастворимых ионов. В результате мелкодисперсные частицы являются более коррозивными по сравнению с крупными частицами. Ключевым моментом в объяснении коррозийных свойств мелкодисперсных частиц является их критический уровень относительной влажности (КОВ). В городской среде КОВ некоторых основных ионных соединений, обнаруженных в составе мелкодисперсных частиц, при 24^0C составляет: NH_4SO_4 40%; NH_4NO_3 65%; NaCl 75%; $(NH_4)_2SO_4$ 81%/. Пленки-электролиты, образующиеся на поверхностях, загрязненных мелкодисперсными частицами при поглощении влаги, являются коррозийными для многих металлов и могут привести к электролитической коррозии или утечкам тока при наличии электрического поля между проводниками.

G-5 Концентрация мелкодисперсных частиц в помещении здания с центральной системой кондиционирования воздуха может составлять 20-50% от воздуха окружающей среды, в зависимости от:

1. Эффективности системы фильтрации воздуха, включая системы, предусмотренные конструкцией здания, так и различные устанавливаемые фильтры.

2. Скорости, с которой воздух из окружающей среды проникает внутрь здания.

3. Внутренних источников, например, курение и другая деятельность людей.

G-6 Концентрация в домах, гаражах и других используемых помещениях может составлять 20-75% от концентрации внешнего воздуха вследствие:

1. Проницаемости частиц сквозь щели, открытые двери или окна.

2. Отсутствия достаточной вентиляции.

3. Внутренние источники, упомянутые выше, а также аэрозоли, производные жидкостных процессов.

G-7 На поверхности ПП поглощение влаги осажденными частицами или другими ионными загрязнителями может привести к образованию электролита вокруг электропроводки. Шунтирование проводов может привести к утечке тока. Утечка тока может привести к случайному сбою или перекрестной наводке. Обычно утечка тока увеличивается приблизительно в геометрической прогрессии с относительной влажностью. Защитные покрытия могут быть эффективны для предотвращения ущерба, вызванного утечкой тока. Тем не менее, электропроводку приборов и электрические контакты обычно не защищают покрытием.

G-8 Если в месте эксплуатации электронного оборудования задать уровень относительной влажности ниже 60%, это поможет минимизировать риск возникновения утечки тока. При наличии загрязнителей, проводящих ток (графитированный углерод или металлическая пыль), утечка может возникнуть и при низкой относительной влажности. Водорастворимые коррозийные вещества могут мигрировать к аноду с образованием металлического осадка, растущего по направлению к катоду, формируя короткую цепь. В некоторых случаях может возникнуть дуговой разряд. Сильный дуговой разряд может пиролизовать ПП с образованием углеродных мостиков. Если нет предохранителей, в результате может возникнуть возгорание. Необходима комбинация загрязнения, влаги и электрическое смещение.

G-9 Для минимизации утечки тока и коррозии в рабочем поле важно:

1. Использовать защитное покрытие без дефектов, оценку которому можно дать испытанием на воздействие загрязнения.

2. Разработать правила и технические условия с учетом контактной площадки и расстоянием между соседними проводниками.

3. Условия задаются в соответствии с техническими требованиями на проектирование.

G-10 Оценить влияние воздействия окружающей среды на надежность электроприборов необходимо, рассмотрев следующие свойства среды:

1. Коррозивные газы, образующиеся в результате сгорания ископаемого топлива.

2. Грубые частицы (>1μm), образующиеся в результате эрозии почвы и минералов или отслаивания биологических матерaлов.

3. Мелкодисперсные частицы (<1μm), образуемые коррозийными газами в результате химических и физических процессов, протекающих в атмосфере.

G-11 За последние годы основной причиной сбоев в электрическом поле являются ионные загрязнения от мелкодисперсных частиц. Повышенное использование систем охлаждения сжатым воздухом, нагнетаемым за счет увеличенной удельной мощности электроприборов, привело к увеличению скорости осаждения мелкодисперсных частиц на поверхности важных компонентов. Скорости осаждения частиц вы можете посмотреть в таблице G-1. В окружающем воздухе многих урбанизированных районов концентрация таких частиц и интенсивность их оседания на поверхности можно сравнить с концентрацией и скоростью осаждения частиц их коррозийных газов. Мелкодисперсные частицы играют решающую роль в коррозийных процессах электроприборов за счет своей высокой концентрации внутри помещений (из-за слабой фильтрации помещения), а также за счет высокого содержания растворенных ионов, сравнимых с грубыми частицами.

G-12 В настоящее время возможно измерить частицы до 0.002 μm в диаметре. Создана новая категория для частиц, называемых ультрамелкими (от 0.002 μm до 0.01 μm). Вычисление числа этих частиц и других частиц ОКВ позволяют вычислить уровень загрязнения окружающей среды урбанизированных районов до 10^8 на $см^3$.

G-13 Содержащиеся в воздухе частицы очень редко состоят из одного вещества. По мере достижения критического уровня относительной влажности (смотрите 11.1.2), частицы быстро ускоряют свой рост. Такой уровень влажности позволяет поглощать не только молекулы воды, но и других органических и неорганических веществ. Обычная частица может состоять из молекул $(NH_4)_2SO_4$, Na_2SO_4, органических кислот. Поскольку понижение влажности может привести к увеличению уровня pH частиц, в южной Калифорнии провели измерения уровня pH частиц, который составил 0.2 или менее.

Таблица G-1 Скорость осаждения частиц

Размер частиц (в микронах)	Скорость осаждения (на кв. фут за сек)

Скорость осаждения частиц внутри помещения изменяется в пределах 20-80% от скорости осаждения в окружающей среде. Эти измерения, проведенные Лабораторией Бель, не включают ультрамелкие частицы.

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Загрязняющие вещества, содержащиеся в воздухе

Н-1 Атмосферное загрязнение оказывает серьезную угрозу электронным микросхемам из-за комплексного характера и сложного состава синергичных частиц, которые образуют многочисленные ионные и гигроскопичные микроскопические соединения. Эти загрязняющие вещества проходят три стадии химических превращений. На первой стадии происходит образование очень реакционных газов (NO_x, SO_x, O_3, H_2O_2, NH_3, H_2S). На второй стадии образуются жидкие кислоты (H_2SO_4, HNO_3, HCL). На заключительном этапе образуются субмикронные гигроскопичные ионные частицы. К сожалению, в любой момент времени в атмосфере присутствуют все три стадии. Какая из стадий доминирует – зависит от времени года, температуры, влажности, местных погодных условий, эффективности методов контроля над средой, продолжительности эксплуатации микросхем в этой среде. Для всех этапов необходимым условием является наличие влаги, в присутствии которой протекают все химические превращения, способные причинить ущерб и повредить электроприборы.

Н-1.1 Специалисты Агентства по защите окружающей среды США провели измерения по уровню загрязнения при трех разных условиях. Одно условие включало окружающий воздух. Каждый час проводились замеры содержания в одном кубическом метре озона, SO_2, NO_2 и других частиц размером 10μm и менее.

Н-1.2 Второе условие – сухое осаждение. Насчитывает 60-90% загрязняющих веществ, содержащихся в атмосфере. Осаждение относится к способу перемещения или переноса. Любая форма осаждения, не включающая осаждение загрязняющих веществ с молекулами воды под действием гравитации, называется сухим осаждением. При этом измеряется количество SO_2, HNO_3, SO_4, NO_3 и многочисленных органических и неорганических соединений, осаждаемых на поверхности в форме частиц размером менее одного микрона. Измерять можно массу (μg на единицу площади поверхности) или количество (число частиц на единицу площади поверхности).

Н-1.3 Третий способ называется мокрое осаждение. Измеряют число mg или μg в литре дождевой воды следующих веществ: сульфат, нитрат ионов, ионов кальция, аммония, хлора, магния калия, натрия. Эти ионы являются основными компонентами кислотных дождей. В США уровень pH для дождевой воды лежит в диапазоне 6.0 – 4.2 (данные 1998г. национальной программы по атмосферным осадкам)

H-2 Окружающий воздух

В таблице H-1 даны ежегодные средние значения уровня загрязняющих веществ из окружающего воздуха в самых неблагоприятных районах

Таблица H-1 уровень загрязнения окружающего воздуха

Загрязняющие вещества	Уровень загрязнения	Местность
		Кентуки, Пенсильвания, Огайо
		Нью Йорк, Лос Анджелес
		Прибрежная полоса, Калифорния (очень много районов с уровнем загрязнения выше 100 ppb)
		Лас Вегас, Невада (много районов в диапазоне 30-40 μg)

H-3 Сухое осаждение

Здесь представлены измерения, проведенные в сельской местности, в данном случае в долине реки Огайо. Количество осадков может сильно варьировать в населенных районах. В таблице H-2 представлены данные измерений в кг/га.

Таблица H-2 Данные измерений сухого осаждения

Зима 97			
Весна 97			
Лето 97			
Осадки 97			
Итого кг/га			
Итого μg/см^2			

H-3.1 Суммированные данные AIRMoN-dry

Данные, представленные ниже, являются самыми точными измерениями, в настоящее время доступны по сети AIRMoN-dry. Их можно использовать строго в соответствии с рекомендациями и предосторожностями по использованию. Научные исследования в области сухого осаждения продолжаются. Представленные здесь данные по мере продвижения исследований будут изменяться.

Образец AIRMoN представляет собой фильтрпакет из трех элементов, основным элементом является тефлоновый фильтр для удаления частиц, средний нейлоновый фильтр для задержки испарений азотной кислоты, а целлюлозный фильтр предназначен главным образом для отбора диоксида

серы. Всасывающая трубка используется для сообщения небольшого количества тепла потоку входящего воздуха, в целях защиты от образования жидкости на фильтре во время высокого уровня влажности. Нет сомнений в том, что это затрудняет измерения нитрата аммония. На практике любое изменение температуры будет оказывать влияние на число накопленных частиц нитрата аммония и приведет к некоторым изменениям в образце, так что любые измерения связанных с нитратом аммония накапливаемых частиц предположительно будут ошибочными из-за влияния изменения температуры воздуха на протяжении суточного цикла. Испытания AIRMoN с системой образцов показали, что частицы нитрата аммония, осажденные на тефлоновом фильтре, неполностью диссоциируют на летучую азотную кислоту и сернистый ангидрид, что сказывается главным образом на измерения количества нитрата, задерживаемого целлюлозным фильтром. Поэтому данные по измерениям количества нитрата, представленные здесь, не являются достоверными.

Испытания показывают, что значения, связанные с летучей азотной кислотой, являются недооцененными, в среднем на 25%. Для коррекции указанные в списке значения следует соответственно увеличить (из-за осаждения на стенках всасывающей трубы).

Данные по скорости осаждения, представленные в таблице, получены с помощью многослойной цифровой модели по результатам наблюдений за ключевыми параметрами, которые были выбраны для наблюдения (например, скорость ветра, стандартное отклонение направления ветра, намокание поверхности, падающее солнечное освещение, температура, влажность, распределение растительных видов и т.д.). Вычислено, что ошибка скорости осаждения может составлять 30%.

Еженедельно средняя скорость осаждения вычисляется как произведение средней скорости осаждения за неделю и средней концентрации за неделю. Таким образом, не учитывается влияние продолжительности, которое может быть существенным, при стойкой концентрации в воздухе и существенном суточном цикле.

H-4 Мокрое осаждение

Данные измерений количества ионов в таблице H-3 представляют самый высокий уровень загрязнений и местонахождение.

H-5 Концентрация определенных газообразных веществ (ppb), входящих в состав воздуха, США

Поскольку измерения проводятся в ppb (частей на биллион) и представляют собой пропорцию, возможны ошибки. В стандартной атмосфере сухого воздуха (с давлением 760 торр) 1 ppb эквивалентен 2.46 x 10^{10} молекул на $см^3$. В таблице Н-4 дано произведение 24.6 биллионов на общее количество (около 200). Но даже это значение неточное, так как эти числа представляют среднее арифметическое. Пики этих чисел могут спровоцировать рост итоговых значений в 20 раз. Если не учитывать содержание инертного азота в атмосфере (около 80%), соотношение между кислородом, влагой и загрязнением будет намного точнее.

Многие реакционные газы могут вступать в реакцию с кислотами с образованием воды и коррозионных частиц. Подобные химические реакции могут привести к разрыву связей в полимерных цепочках и образованию микротрещин в покрытии и в результате к расслоению. Эти газы, так же как молекулы воды, всегда присутствуют в атмосфере и могут привести к значительным разрушениям покрытия, а также других полимеров и металлов на протяжении длительного времени. Никто не знает, сколько времени займет этот процесс.

Таблица Н-4 Концентрация определенных газов в атмосфере, США

газ	В окружающей среде	В помещении

Соответствует 5% массе HCL

Н-6 Сухое осаждение в помещении

В 1986 г. в Японии и других странах Южной Азии были проведены исследования по определению количества загрязняющих веществ и конечной коррозии на металлических составляющих электроприборов (серебро и медь) которые могут иметь место при эксплуатации внутри помещения. В таблице Н-5 представлены пробы значительного и незначительного количества обнаруженных загрязнений. Очевидно, что местоположение является главным фактором уровня загрязнения.

Таблица Н-5 Уровень загрязнения помещений, Дальний Восток

загрязнитель	**местонахождение**	**При кондиционировании воздуха**	**Без кондиционирования воздуха**
	Токио	(офис, город)	(химическая лаборатория, город)
	Бандунг	(комната для измерений, сельская местность)	(гидрометаллургическая лаб., село)
	Токио	(офис, город)	(компьютерная комната,

			село)
	Бандунг	(лаборатория эфирных масел, город)	(сарай, село)
	Бандунг	(комната для измерений, город)	(металлургическая лаборатория, город)
	Сингапур	(библиотека, город)	(жилая комната, пригород)

Внимание: все измерения в µg/см^2 за год

Влага представляет собой наиболее распространенное и существенное атмосферное загрязнение. Она ускоряет до 90% все процессы, связанные с коррозией и электромеханической миграцией. Покрытия обладают влаго- и газопроницаемостью. Сульфаты, нитраты, хлориды и натрий очень гидроскопичны и связывают воду, соединяются друг с другом и с другими соединениями с образованием химических соединений, причиняющих ущерб.

Молекулы воды в атмосфере с 80% уровнем относительной влажности образуют соединения с серной, азотной, хлороводородной кислотами, нитратами аммония, сульфатами аммония. Сульфаты не испаряются, а накапливаются на поверхности. На металлических поверхностях формируется водяная пленка толщиной в 5-10 молекул, которая содержит большое количество загрязняющих веществ, способных вызвать повреждения.

H-7 Озон

Озон – сильно реакционный газ. Это очень нестойкое соединение при контакте с другими веществами. Может вступать в реакцию со многими органическими соединениями, включая полимеры и эластомеры. В состав многих полимеров входят добавки для предотвращения непосредственной реакции с озоном.

В условиях влажности органические соединения и другие реакционные газы взаимодействуют с озоном посредством многочисленных химических реакций, многие из которых могут привести к разрыву полимерной цепочки или поперечных связей.

Атмосферный озон существует только в дневное время, обычно во второй половине дня и рано вечером. В атмосфере многих городов уровень составляет 100-200 ppb. Озон также может образоваться в результате электрических разрядов, генерируемых двигателями или электрическими щетками.

H-8 Газообразные углеводороды

В настоящее время в воздухе обнаружено 151 органическое соединение. 40 из них являются поляризованными органическими кислотами. Количество каждого по отдельности незначительно, но при их объединении в единое целое в обычной городской среде получается 500-1000 $\mu g/м^3$.

Органические соединения, содержащиеся в воздухе, являются основным источником галогенов (фторидов, бромидов, хлоридов и йодидов). Большинство из них гигроскопичны и связывают молекулы воды, образуя взвеси в воздухе и на поверхностях. Благодаря этому увеличивается вероятность образования водяной пленки на поверхностях в условиях повышенной влажности. Органические соединения также являются очень вязкими, что затрудняет удаление загрязнений с поверхности.

Данные органические соединения также реагируют с гидроксид ионами с образованием пероксида водорода. А также вступают в реакцию с озоном и другими газами. Сами по себе органические газы не представляют угрозы для электронных микросхем, но они могут участвовать в разрушении и образовании других соединений, которые будут являться вредоносными. Взаимодействие реакционных газов, кислот и частиц чрезвычайно сложно, в настоящее время продолжается их изучение.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Испытание искусственным кислотным дождем

I-1 Дождь будет кислотным и без вмешательства человека. Природные источники, CO_2, вулканическая активность, огонь и даже бактерии образуют газы, обуславливающие кислотный характер дождей (pH 5.2>6). В реальной жизни сульфаты и нитраты являются неотъемлемой частью процессов формирования удобрений. Невозможно и неразумно избавляться от них. Человеческая жизнедеятельность является источником образования других ЛОС (летучих органических соединений), находящихся в воздухе. Целая серия химических превращений инициируется при участии воды и УФ освещения. Основными источниками кислотных дождей являются озон, сульфаты и нитраты. (pH<5.0).

Для химических реакций требуется 48 часов, для получения в результате настоящей кислотной составляющей из 63% серной кислоты, 31% азотной кислоты, 6% хлороводорода. Поскольку количество кислоты зависит от солнечного освещения, влаги и высокой температуры, больше всего кислоты образуется в летнее время, а не зимой. Специалисты EPA определили, что

туман на северо-востоке СШ на период жарких дней с высокой влажностью (>80%) на 50% состоит из кислоты. По мере достижения температуры конденсации, микроскопические капли кислотного водяного пара начинают скапливаться, формируя облака, морось, туман и дождь. Чем обильнее и продолжительнее атмосферные осадки, тем меньше в них содержится кислоты, поскольку кислотный остаток вымывается.

Туман и морось могут быть чрезвычайно кислотными (в Западной Виргинии уровень pH составил 1.5). Азотная и хлороводородная кислоты испаряются примерно с той же скоростью, что и вода. Серная кислота не испаряется и содержится в осадках в виде взвесей. Аммиак не соединяется с водяным паром, но реагирует с серной и азотной кислотами с образованием гидросульфатов, сульфатов или нитратов аммония размером с субмикронные частицы, кислотные или основные, которые осаждаются в виде налета. Эти соли аммония абсорбируют влагу, образуя анионы или катионы, которые могут стать причиной утечки тока, временных коротких замыканий и роста дендритов.

Специалисты EPA вывели формулу кислотного дождя для проведения испытаний: искусственный кислотный дождь, разработанный в СШ отделом торгового национального бюро по выпуску специальных стандартов 260-106. Справочный материал 8409 и справочный материал по стандартам 2694.

Таблица I-1 Формула кислотного дождя для испытательных целей

pH	**3.6**
Удельная электропроводность	130.0
Кислотность	0.28
Фториды	0.1
Хлориды	1.0
Нитраты	7.0
Сульфаты	11.0
Натрий	0.4
Калий	0.1
Аммоний	1.0
Кальций	0.05
Магний	0.05

Не упомянуто, что формируются эти вещества при вступлении в реакцию, например, нитратов, сульфатов или таких соединений, как серная, азотная, хлороводородная кислоты, хлорида, сульфата, нитрата натрия, нитрата, сульфата аммония с другими соединениями. Все вышеперечисленные вещества образуются в атмосфере при взаимодействии с озоном при солнечном освещении (УФ лучи) при наличии влажности (водяной пара или капли). Многие из этих соединений осаждаются на поверхностях без участия

воды (в виде дождя или конденсата) как переносчики (этот процесс известен как сухое осаждение).

При неблагоприятном воздействии среды есть несколько проблем, оказывающих влияние на долгосрочную надежность микросхем с покрытием. Покрытия могут быть повреждены действием осмотического давления и химическими реакциями взаимодействия различных загрязняющих реагентов с молекулами воды. Это выражается в шелушении, обесцвечивании, образовании вздутий и конечном отслоении покрытия из-за разрыва полимерных связей.

Когда загрязняющие реагенты, связанные молекулами воды, достигают поверхности платы, начинается процесс коррозии металлических составляющих микросхемы и выводов компонентов. Разрывается связь между покрытием и металлом. Эта проблема возникает при отсутствии питания микросхемы.

Когда микросхема подсоединена к источнику питания, под действием электрохимической миграции происходит рост дендритов. Можно провести испытание SIR в условиях загрязненной атмосферы с высоким уровнем влажности для проверки эффективности задержки загрязняющих реагентов микросхемой с питанием и без.

ПРИЛОЖЕНИЕ J

Покрытия для медицинского оборудования

J-1 Поверхностные покрытия можно использовать в целях изменения и улучшения значимых характеристик поверхности конкретных медицинских компонентов и приборов, тем самым удовлетворяя различным требованиям к характеристикам. Далее ведется обсуждение некоторых основных категорий наложения покрытий для медицинских приборов, а также пересмотрены положения, которые можно использовать для определения совместимости процесса с конкретным назначением.

Дается перечисление функций модификации поверхности за счет конформного покрытия, нанесенного на компоновочный узел приборов медицинского назначения.

- Изоляция поверхности от воздействия физиологическими тканями и жидкостями – и наоборот.
- Обеспечение выборочной или общей электрической изоляции.
- Улучшение скольжения.
- Стабилизация/укрепление поверхностей за счет иммобилизации микрочастиц.
- Герметизация поверхностной микропористости для ограничения проницаемости загрязняющих частиц.
- Механическая стабилизация очень чувствительных структур.
- Функционирование в качестве интимальной поверхности для улучшения роста ткани.

Независимо от специфических особенностей медицинского назначения покрытие должно достигать желаемой поверхностной модификации без каких либо добавок, которые могут иметь обратный эффект.

Несмотря на то, что конформные покрытия нашли свое широкое применение в промышленной, автомобильной, аэрокосмической отраслях, особый уровень сложности предъявляется в области медицины. Спорные вопросы начинаются с момента выбора материала покрытия сразу после подготовки поверхности до непосредственного нанесения. При выборе конформного

покрытия для приборов медицинского назначения следует учитывать ряд важных факторов:

- ***Биологическая стабильность/биологическая совместимость*** – двусторонняя долгосрочная совместимость и реакционная инертность между покрытием и человеческим телом, физиологическими жидкостями.

- ***Отсутствие побочных продуктов*** – покрытия медицинских приборов не должны загрязнять основание газами и побочными продуктами от катализаторов, растворителей и пластификаторов. С основанием не должно быть никаких химических реакций, продукты которых могут оказывать негативное воздействие на пациента или функции самого прибора.

- ***Отношение к воде*** – наличие и отсутствие способности смачивания.

- ***Отверждение и рабочая температура*** – должны быть в диапазоне характеристик прибора или основания.

- ***Сила отверждения*** – не должна разрушать низлежащие структуры.

- ***Совместимость с поверхностями, имеющими сильноизменчивую геометрию*** – покрытие должно обеспечивать эффективную изоляцию всей поверхности, включая низлежащие компоненты, скрытые участки, трещины и др. без перекрытий и заливов по всей высоте.

- ***Финишная толщина*** – может потребоваться очень плотное покрытие для обеспечения полной защиты на физическом, химическом и электрическом уровне для основания, не имеющего пор и точечных отверстий.

- ***Механическое нагружение*** – покрытие должно функционировать без существенных изменений заданных механических характеристик.

- ***Стойкость к отслаиванию*** – покрытие должно быть достаточно твердым и прочно наложенным для предотвращения нежелательных отслоений от основания.

- ***Стерилизуемость*** – под воздействием стерилизующих средств покрытие должно сохранять все свои свойства.

J-2 Применение медицинских покрытий

Можно выделить две категории биомедицинских покрытий: для приборов краткосрочного использования (например, для хирургических инструментов) и длительного применения (протезы и различные имплантаты).

Некоторые покрытия, предназначенные на короткий срок, требуют только изоляции, которая предоставляет своеобразный барьер между прибором и органической тканью. Тем не менее, к покрытию могут предъявляться требования по обеспечению дополнительных свойств, таких как скользкость или диэлектрическая защита.

Медицинские покрытия для длительного использования имеют похожие технические требования, но с условием, что они выполняются на протяжении длительного времени. Биосовместимые покрытия также могут использоваться в таких целях, как стимуляция роста ткани или препятствие образованию тромба.

Ниже дается список обычных медицинских предметов, для которых может потребоваться конформное покрытие, с кратким обзором принципиальных свойств, которые обеспечивают покрытия.

J-2.1 Временные покрытия

- ***Медицинский клапан*** – покрытие используется для ослабления липкости, придания дополнительной механической прочности, придания скользящих свойств сухой пленке и обеспечение химической изоляции.
- ***Датчик давления*** – покрытие датчика обеспечивает защиту хрупким чувствительным элементам без механического нагружения средств измерения или, наоборот, мешающим функционированию прибора.
- ***Однопроводная линия передачи*** – покрытие предназначено для увеличения скользящей способности и антикоррозийной защиты от воздействия биологических жидкостей.
- ***Катетер*** – покрытие увеличивает скользящую способность и изолирует поверхность от коррозийного воздействия биологическими жидкостями.
- ***Ультразвуковой датчик*** – покрытие также увеличивает скользящую способность, обеспечивает электрическую изоляцию и изоляцию от коррозийного воздействия биологическими жидкостями.

- ***Шип*** – подходящее покрытие будет снижать коэффициент трения, действовать как антиадгезив, обеспечивая чистую поверхность, снижать отслоение, обеспечивать гладкую поверхность и продлевать срок службы.
- ***Зонд*** – покрытие улучшает скользящую способность, может требоваться выборочная герметизация для проводящих свойств детали.
- ***Иглы*** – эффективное покрытие может загерметизировать микропоры, улучшить скользящие способности, покрытие может наноситься на наружную и внутреннюю поверхности иглы, существенно не изменяя размер предмета.

J-2.2 Покрытия длительного использования

- ***Электронная схема*** – покрытие изолирует от влаги и коррозийного биологического воздействия, конформное покрытие обеспечивает электрическую изоляцию.
- ***Кардиостимулирующие аппараты*** – изолированы от коррозийных биожидкостей, конформное покрытие обеспечивает электрическую изоляцию.
- ***Пипетка/микрокювета*** – герметизация микропор, защита от коррозийных биожидкостей, влаги и химических веществ.

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Пример строгого критерия по отношению к дефекту конформного покрытия А

К-1 Отсутствие проверки целостности, реальных требований к испытанию среды, информации о физических характеристиках покрытий и знаний о синергетических химических реакциях, которые могут иметь место, не позволяют определить надежность микросхемы в неблагоприятных условиях.

Проверка целостности покрытия должна показать, что микропоры и отверстия не станут причиной отказа работы микросхемы из-за влаги и загрязняющих веществ. В настоящее время «проверка целостности» - это скорее осмотр при УФ освещении. Большинство покрытий при УФ освещении флуоресцируют, что может помешать обнаружению микроскопических точечных отверстий, пор (даже при увеличении) и нельзя определить толщину покрытия.

Существуют несколько способов разрешения этих проблем. Используя тест-купоны и пробные компоненты, прототипы блоков или образцы производственных блоков, размещенных в камеру с заданными условиями, можно определить, есть ли производственные проблемы из-за конденсата на поверхности покрытия компоновочного узла под действием электрического смещения и измерить утечку тока. Такой тест поможет проверить процесс нанесения и выбор материала.

Быстрый, но неполный тест можно провести с помощью вращающейся влажной ватной палочки или щетки над работающей микросхемой и выявить любые отклонения в работе микросхемы. Другой тест называется «капельная проба». В этом случае капля воды помещается в область проверки во время наблюдения за работой микросхемы. При проведении такого теста на производственном блоке следует соблюдать меры предосторожности и не оставлять влагу на поверхности более нескольких секунд, это грозит загрязнением. Таким образом, можно обнаружить от 20 до 40% дефектов недавно покрытых плат. Такой высокий показатель дефектов главным образом обусловлен жидким растворителем, который распыляют, наносят или в который погружают. Тест с каплей воды и ватной палочкой можно также проводить на предмет выявления повреждений покрытия.